

**ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**ANGIE FERNANDA CONDE ANZOLA**

**DANIELA STEPHANY VEGA GODOY**

**ERIKA ALEJANDRA PINILLA HERRERA**



**UNIMINUTO**  
Corporación Universitaria Minuto de Dios

**UNIMINUTO**  
Corporación Universitaria Minuto de Dios

**PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

**GIRARDOT, CUNDINAMARCA**

**2021**

**ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**ANGIE FERNANDA CONDE ANZOLA**

**DANIELA STEPHANY VEGA GODOY**

**ERIKA ALEJANDRA PINILLA HERRERA**



**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

**GIRARDOT, CUNDINAMARCA**

**2021**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>NOTA DE ACEPTACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS DANIELA STEPHANY VEGA GODOY.....</b>	<b>7</b>
<b>AGRADECIMIENTO ERIKA ALEJANDRA PINILLA HERRERA.....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>9</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
<b>JUSTIFICACION .....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>14</b>
<b>MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>15</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>18</b>
<b>¿QUÉ SON LAS AGUAS RESIDUALES? .....</b>	<b>18</b>
<b>CARACTERIZACIÓN Y PARÁMETROS DE LAS AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>19</b>
<b>CAUDAL DE DISEÑO .....</b>	<b>25</b>
<i>Proyección de la Población .....</i>	<i>25</i>
<i>Cálculo Caudal de diseño PTAR .....</i>	<i>27</i>
<b>TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>33</b>
<i>Etapas de Tratamiento de Aguas Residuales.....</i>	<i>35</i>
<i>Sistemas de tratamiento .....</i>	<i>38</i>
<i>Estructuras de tratamiento preliminar o previo .....</i>	<i>39</i>
<i>Estructuras de tratamiento primario.....</i>	<i>45</i>
<i>Estructuras de tratamiento Secundario .....</i>	<i>51</i>
<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>58</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>63</b>

## TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Aportes per cápita para aguas residuales domésticas. Adoptada de Res. 0330/2017 .....	24
Tabla 2 Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales. Adaptado de Res.0330/2017.....	27
Tabla 3 Factores pico para caudales de Tratamiento de aguas residuales. Adaptado de Res. 0330/2017 .....	28
Tabla 4 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. Adaptado de res. 0330/2017 .....	31
Tabla 5 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas. Adaptado de Título E RAS2016.....	32
Tabla 6. Criterios de diseño para tamices. Adaptado de Res.0330/2017 .....	42
Tabla 7 Criterios de diseño para espesadores de lodos por gravedad. Tomado de Res 0330/2017 .....	55
Tabla 8 Criterios de diseño para digestores anaeróbicos completamente mezclados. Tomado de Res. 0330/2017 .....	55
Tabla 9 Requerimientos de área para lechos de secado a cielo abierto. Tomado de Res. 0330/2017 .....	56
Tabla 10 Rangos de eficiencia en los Procesos de tratamiento. Tomado de Res. 0330/2017 .....	57

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado  
“ELABORACIÓN DE UNA GUIA  
PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES”

Presentado por ANGIE FERNANDA  
CONDE ANZOLA, DANIELA  
STEPHANY VEGA GODOY, ERIKA  
ALEJANDRA PINILLA HERRERA en  
cumplimiento del requisito parcial para  
optar al título de Ingeniero Civil, fue  
aprobado por el director del proyecto y por  
el jurado evaluador correspondiente.

---

Lina Katheryn Parra Rodríguez

---

Jurado

---

Jurado

## **AGRADECIMIENTOS ANGIE FERNANDA CONDE ANZOLA**

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme tener la mejor experiencia dentro de la universidad, de ayudarme a crecer como persona y como estudiante, pues he cultivado mi camino desde que inicie mi carrera hasta ahora que la estoy finalizando, es una felicidad inexplicable, ya que seré profesional en lo que tanto me apasiona. A mis padres le agradezco por darme la vida y la mejor crianza, los valores que me han enseñado son los mejores, y como no estar agradecida con personas tan maravillosas, espero que estén presente en muchos logros más, mi mejor fortuna es tenerlos cerca.

## **AGRADECIMIENTOS DANIELA STEPHANY VEGA GODOY**

Veó cada vez más cerca mi futuro y me da alegría y nostalgia, pensar que hace unos años empecé esta historia llena de emociones, trasnochos, discusiones con mis compañeros por quien hacia un punto del trabajo, las veces que fuimos de fiestas, en fin. Son sensaciones tan bonitas que cada vez más voy a extrañar. No hay alguna duda de lo orgullosa que me siento de tener a mis padres como mi gran apoyo.

## **AGRADECIMIENTO ERIKA ALEJANDRA PINILLA HERRERA**

Hoy más que nunca estoy feliz y muy emocionada, llego el día que más anhelaba cuando empecé mi proceso como ingeniera civil, es una felicidad tan grande, un orgullo y admiración por todo lo que conseguí, lo que logre y lo que lograré, agradezco primeramente a Dios, a mis padres por todo el apoyo que me han brindado, mi familia, mis amigos y compañeros de trabajo que de algún u otra forma estuvieron conmigo en momentos de dificultad.



## **INTRODUCCION**

El presente proyecto comprende la elaboración de una guía para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta los diferentes procesos y tipos de tratamiento que se pueden realizar para la depuración de las aguas residuales en zonas urbanas y rurales; tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y línea de tratamiento de lodos.

Para la selección del tratamiento se debe analizar y determinar las eficiencias de remoción en cada uno de los procesos que garantizarán el cumplimiento de la normatividad actual vigente en el país Resolución 631 del 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” (MINAMBIENTE, 2015)

Para determinar los caudales de diseño y los diferentes criterios y parámetros técnicos para el diseño del sistema de tratamiento, se debe tener en cuenta y garantizar el cumplimiento de la Resolución 0330/2017. (MINVIVIENDA, 2017)

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente el tratamiento de las aguas residuales en la mayoría de los municipios de Colombia no se realiza de la manera adecuada o hay carencia de este tipo de sistemas, realizándose los vertimientos de las aguas residuales recolectadas a través de los sistemas de redes de alcantarillado de manera directa a las fuentes de aguas superficiales o al subsuelo, generando problemas de contaminación de los suelos, fuentes de agua natural y medio ambiente en general.

Adicionalmente, el manejo y disposición inadecuada de las aguas residuales genera un impacto negativo sobre la calidad de vida de los seres humanos, especialmente porque genera problemas de salud y afecta su actividad económica y social.

Por otra parte, la contaminación de las fuentes naturales con aguas servidas (residuales) genera dificultades y en ocasiones imposibilita el tratamiento y producción de agua potable, es decir, agua apta y necesaria para que el ser humano satisfaga sus necesidades básicas.

Desde el punto de vista de la ingeniería civil, los proyectos de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales PTAR son un poco complejos, especialmente cuando no se cuenta con la experiencia y un amplio conocimiento en el tema, debido a que no se cuenta con un manual de procedimientos o un proceso estandarizado para la correcta selección de las alternativas de tratamiento.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, surge como pregunta:

¿Sería útil una guía o manual que estandarice los procesos para los estudios y diseños de Plantas de tratamiento de aguas residuales?

Por la anterior razón, como estudiantes del programa de ingeniería civil a través de los conocimientos adquiridos en la asignatura Plantas de Tratamiento, se plantea la elaboración de una guía o manual para proyectos de estudios y diseños de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales sostenibles en zonas rurales y urbanas, con el fin de que sea útil y aplicable en este tipo de proyectos.

## JUSTIFICACION

En la actualidad la mayoría de los municipios y proyectos urbanísticos desarrollados en zonas rurales y urbanas no cuentan con un sistema de tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales, generando problemas de contaminación ambiental y especialmente deterioro y afectación sobre el recurso hídrico, que cada día se escasea más.

Es importante resaltar, como se manifiesta en uno de los datos destacados destacables de las Naciones unidas en el objetivo de desarrollo sostenible ODS No.06 “Más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación”. (Unidas, s.f.)

Los proyectos de estudios y diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en zonas urbanas y rurales son muy complejos y deben garantizar el cumplimiento de los criterios y parámetros técnicos y los parámetros y valores máximos permisibles para vertimientos puntuales sobre fuentes de aguas superficiales expuestas 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.

Sin embargo, en muchas ocasiones y por diversas razones, este tipo de proyectos se demoran en ser aprobados puesto a que no cumplen con los requisitos estipulados en la normatividad y por desconocimiento de los lineamientos y/o procesos a seguir al momento de elaborar un estudio y diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anteriormente expuesto, se pretende elaborar una guía o manual que centralice o estandarice los lineamientos y procesos necesarios para realizar un correcto estudio y

diseño de una Planta de tratamiento de aguas residuales, cumpliendo con los criterios y parámetros técnicos estipulados en la resolución 0330/2017 y los parámetros y valores máximos permisibles para vertimientos puntuales sobre fuentes de aguas superficiales estipulados en la resolución 0631/2015.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una guía o manual para proyectos de estudios y diseños de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en zonas rurales y urbanas, logrando una estandarización del proceso que sea útil para los ingenieros civiles.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Definir los parámetros y criterios bases o iniciales para tener en cuenta en el diseño de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, teniendo en cuenta la normatividad actual vigente en el país (resolución 0330/2017 y resolución 0631/2015).
- Determinar los estudios y diseños previos necesarios para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Identificar los inconvenientes y dificultades más frecuentes e importantes que se presentan al momento de realizar proyectos de diseños de PTAR.
- Formular el proceso o procedimiento necesario para la selección de las alternativas y/o tecnologías de tratamiento de aguas residuales a aplicar.

## **MARCO DE REFERENCIA**

El Título E RAS 2000 “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” establece los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado. (MINDESARROLLO, 2000)

Este título incluye generalidades, caracterización de las aguas residuales, sistemas de tratamiento en el sitio de origen, sistemas centralizados, emisarios submarinos, aspectos de operación y mantenimiento y un Anexo con metodologías de diseño recomendadas. (MINDESARROLLO, 2000)

La resolución 0330 del 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Ras y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”

En el capítulo 5 “SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES” se presentan los requisitos técnicos para los sistemas de tratamiento de aguas residuales y sus subproductos, mencionado las consideraciones técnicas generales (Caudal de diseño, cuerpo receptor y modelación de calidad del agua, funcionamiento hidráulico de la planta de tratamiento de aguas residuales), consideraciones de caracterización y tratabilidad (línea base para caracterización del agua residual cruda, estudio de toxicidad), consideraciones de tratamientos descentralizados (estudios previos,

trampas de grasa, tanques sépticos, entre otros tipos de estructuras de tratamiento con sus criterios y parámetros técnicos), consideraciones de tratamientos centralizados (estudios previos, selección de sitios de localización, eficiencias en los procesos de tratamiento, entre otros criterios y requisitos mínimos a cumplir para los diferentes tipos de tratamiento), gestión de subproductos del tratamiento de agua residual, estructuras o instalaciones complementarias, y puesta en marcha, operación y mantenimiento de tratamiento de agua residual. (MINVIVIENDA, 2017)

La Resolución 631 del 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”, empleada para tener en cuenta los valores máximos permitidos de carga contaminante en vertimientos que se realizarán sobre cuerpos de aguas superficiales. (MINAMBIENTE, 2015)

El libro “Tratamiento de Aguas Residuales Teorías y Principios de diseño” del Autor Jairo Alberto Romero Rojas, presenta los principios y métodos básicos para formular y aplicar una metodología que permita identificar cada problema específico, caracterizarlo, definir los criterios de tratamiento y establecer las operaciones y procesos de tratamiento óptimo para lograr los requerimientos definidos y concretar el diseño correspondiente.

El texto está dirigido a ingenieros y estudiantes del tratamiento de aguas residuales que deseen conocer los fundamentos y el diseño de las operaciones y procesos que componen un sistema de control de contaminación de aguas residuales. (Romero Rojas, 2000)

La guía “Gestión para el manejo, Tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales” creada por el Ministerio del Medio Ambiente en el año 2002, es un



instrumento práctico para las administradoras locales y autoridades ambientales que deseen identificar y desarrollar de manera sencilla los componentes de esta gestión y adelantar iniciativas de priorización, formulación y financiación de programas y proyectos de descontaminación de efluentes residuales.

Esta guía es parte de un frente de gestión más amplio en el control de la contaminación del recurso hídrico, y se complementa con otras iniciativas, como la formulación de un Plan Nacional de Manejo y tratamiento de aguas residuales municipales. (MINAMBIENTE, 2002)

## MARCO TEORICO

### ¿Qué son las aguas residuales?

Las Aguas Residuales también conocidas como aguas servidas, aguas negras, fecales o cloacales, son aquellas aguas que han sufrido variaciones en sus características naturales debido al uso del ser humano en actividades para satisfacción de sus necesidades básicas, provenientes de: viviendas, industrias y lluvias, o de cualquier agua superficial o subterránea. Esta agua al no ser tratada carece de valor inmediato debido a su baja calidad. (Lema, 2016)

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)

Las aguas residuales se clasifican en aguas residuales domesticas (ARD) y aguas residuales No domesticas (ARnD). Las ARD son las aguas procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que corresponden a descargas de los retretes y servicios sanitarios, sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (no se incluyen los servicios de lavandería industrial. Las ARnD son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domesticas – ARD. (MINAMBIENTE, 2015)

**Aguas Residuales Domésticas o Aguas Negras:** Proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de

materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas. (Espigares & Pérez, 1985)

**Las Aguas Residuales Industriales:** proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales. (Espigares & Pérez, 1985)

**Aguas Residuales Agrícolas:** Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales; estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (Espigares & Pérez, 1985)

Las aguas residuales son recolectadas por el sistema de alcantarillado que lo conduce a la planta de tratamiento de aguas residuales o al punto de disposición final, el caudal de agua residual no siempre tiene un régimen regular durante el día, en el caso de sistemas separativos de alcantarillado, el caudal de agua residual desciende significativamente durante la noche y dependiendo del tamaño de la población servida, el caudal máximo puede alcanzar hasta tres veces el caudal medio diario. Por lo tanto, las aguas residuales contienen diversas sustancias de origen natural o artificial que pueden ser más o menos dañinas para el hombre, los animales y el ambiente. (Rojas, 2002)

### **Caracterización y Parámetros de las aguas residuales**

Para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, es de gran importancia

realizar la caracterización de las aguas a tratar, este es un paso muy importante y se realiza a través de un trabajo de campo (muestreo) y análisis en laboratorio, para lograr muestras representativas y análisis confiables. (Marín & Osés, 2013)

La caracterización de una descarga trae consigo la determinación de composición, flujos y concentraciones máximas, mínimas y medias de este; una tarea de esta índole puede llevarse meses de trabajo, cuando se desee muestrear bajo diferentes condiciones climáticas, épocas del año y otras variantes. (Marín & Osés, 2013)

El muestreo consiste en obtener una muestra representativa del efluente, con el objetivo de analizar sus características y determinar sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos para identificar los contaminantes y estudiar el método a utilizar. Es importante que la muestra también sea reproducible, sustentada y útil. (Lema, 2016)

Las aguas residuales presentan sus características y parámetros importantes para tener en cuenta en el momento de realizar el proceso de tratamiento. Algunas de los parámetros de las aguas residuales son:

- **Materia flotante:** es todo aquel material que quede retenido en una malla entre 2.8mm y 3.3mm de abertura. La determinación de materia flotante en aguas residuales y aguas residuales tratadas es de importante para el control y el tratamiento de descargas. La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada. (Marín & Osés, 2013)
- **Compuestos Orgánicos Biodegradables o materia orgánica.** Los porcentajes varían según el origen del agua residual, y están compuestas principalmente por: proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y lípidos (10%) (Lema, 2016)

- **Potencial de hidrogeno – PH:** es un parámetro de gran importancia, tanto para aguas naturales como para aguas residuales. El agua residual con concentraciones de Ion hidrógeno inadecuadas, presenta dificultades para el tratamiento con procesos biológicos. El valor de PH es un parámetro regulado por límites máximos permisibles, en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores. (Marín & Osés, 2013)
- **Sólidos Totales (ST):** el agua puede contener, tanto, partículas en suspensión como compuestos solubilizados. Se definen los sólidos totales como, los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida o específica. (Marín & Osés, 2013)
- **Sólidos Sedimentables (SS):** son aquellos solidos que se sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante 1 hora. Los sólidos sedimentables son los causantes de la turbiedad, debido a que producen dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua. Las aguas naturales, residuales o residuales tratadas con altos contenidos de solidos sedimentables, no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o plantas potabilizadoras. (Marín & Osés, 2013)
- **Sólidos Suspendedos Totales (SST):** son constituidos por solidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidos en el elemento filtrante. (Marín & Osés, 2013)
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** es el parámetro que mide el contenido orgánico biodegradable que posee un cuerpo de agua, y la cantidad de oxígeno necesario para su descomposición. También llamada, Demanda Biológica de

Oxígeno. La medición expresa, la cantidad de materia orgánica que puede ser consumida u oxidada, por una población bacteriana en una muestra de agua. (Marín & Osés, 2013)

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** es una estimación de la materia susceptible a oxidación, por un oxidante químico fuerte. Esto significa que requiere condiciones menos controladas que la DBO. (Marín & Osés, 2013)
- **Oxígeno disuelto:** Es un parámetro fundamental en los ecosistemas acuáticos y su valor debería estar por encima de los 4 mg/L para asegurar la sobrevivencia de la mayor parte de los organismos superiores. Se usa como indicador de la contaminación o, por decirlo así, de la salud de los cuerpos hídricos. (Lozano, 2012)
- **Grasas y Aceites:** son compuestos orgánicos, constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son: los usos domésticos, talleres automotrices y los motores de lanchas y barcos, la industria de petróleo, los rastros, las procesadoras de carnes y embutidos, y la industria cosmética. (Marín & Osés, 2013)
- **Nitrógeno:** es el componente principal de las proteínas y es un nutriente esencial para las algas y bacterias que intervienen en la depuración del agua residual. Puede presentarse en forma de nitrógeno orgánico (presente en las proteínas), nitrógeno amoniacal (producto de la descomposición del nitrógeno orgánico) y formas oxidadas como nitritos y nitratos. (Lozano, 2012)
- **Fósforo:** es, junto con el nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. (Lozano, 2012)

Las Aguas Residuales dependiendo de su origen, contienen un gran número de microorganismos (benignos o patógenos), cuya principal función es fermentar, transformar y descomponer la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto mediante procesos aerobios o anaerobios. En general las características biológicas más importantes que se miden en el tratamiento de aguas residuales por ser un indicador de agua contaminada son (Lema, 2016):

- **Coliformes Totales.** Abarca la totalidad del grupo. Son bacterias capaces de fermentar lactosa con producción de gas a una temperatura de 35-37°C. Estas comúnmente no causan problemas.
- **Coliformes Fecales.** Son aquellas bacterias que tienen las mismas propiedades que los Coliformes totales pero que pueden fermentar lactosa a una temperatura de 44-44.5°C. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica ya que poseen el potencial de causar enfermedades.

De acuerdo con el art. **169. Línea base de caracterización del agua residual cruda:** La persona prestadora del servicio deberá realizar mediciones de caudales y de calidad del agua cruda en el sistema de alcantarillado que alimentará la PTAR, con la anterioridad al diseño de la PTAR, con el fin de garantizar información de tiempo seco y de tiempo húmedo, Se deben realizar por lo menos tres jornadas de 24 horas en tiempo seco y tres jornadas en tiempo húmedo, para la medición de caudales y muestreo, con toma de datos cada hora. Dos de las tres campañas deben realizarse en días entre semana y una tercera campaña en el sábado. Los parámetros que se requiere medir son: temperatura de ambiente, temperatura del agua, pH, DBO5, DQO, SST, SSed, grasas y aceites, nitrógeno total, fósforo total, oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales. Las anteriores

mediciones deben realizarse tanto en el sistema de alcantarillado como en las descargas directas a los cuerpos de agua, que en el futuro se conecten a la PTAR. (MINVIVIENDA, 2017)

**Parágrafo 1°.** Para aquellos casos en se detecte la presencia de industrias que puedan eliminar en sus efluentes elementos tales como: cianuro, cadmio, zinc, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo, se deberá prever su medición en el futuro afluente de la PTAR.

**Parágrafo 2°.** Se entiende como línea base para considerar que un agua residual posee características típicas domésticas aquellas que tengan los siguientes valores de aportes per cápita:

*Tabla 1 Aportes per cápita para aguas residuales domésticas. Adoptada de Res. 0330/2017*

<b>Parámetro</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor sugerido</b>
<b>DBO 5 días, 20°c, g/hab/día</b>	25 - 80	50
<b>Sólidos en suspensión, g/hab/día</b>	30 - 100	50
<b>NH3-N como N, g/hab/día</b>	7.4 - 11	8.4
<b>N Kjeldahi total como N, g/hab/día</b>	9.3 – 13.7	12.0
<b>Coliformes totales, #/hab/día</b>	$2 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{11}$



**Parágrafo 3°.** Dentro del plazo del diseño de la PTAR, el diseñador deberá realizar por lo menos una campaña de caracterización similar a la mencionada anteriormente, con el fin de confirmar los datos entregados por la persona prestadora del servicio.

### **Caudal de diseño**

Para los estudios y diseños de sistemas de acueducto y alcantarillado se debe tener en cuenta que la población a beneficiar sea la población futura, proyectada al periodo de diseño.

El periodo de diseño de acuerdo con lo estipulado en el artículo 40 de la resolución 0330/2017 es de 25 años.

### **Proyección de la Población**

Los métodos para la proyección de la población son:

#### **Método Aritmético**

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

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc)$$

*Ecuación 1. Formula Método Aritmético*

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

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc} \qquad r = \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1$$

#### *Ecuación 2. Formula Método Geométrico*

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 tasa de crecimiento anual en forma decimal

### **Método exponencial**

Este método es aplicable a poblaciones con desarrollo y expansión apreciables

$$Pf = Pci * e^{kx * (Tf - Tci)} \qquad k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca}$$

Donde:

#### *Ecuación 3. Formula Método Exponencial*

- 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.

### **Cálculo Caudal de diseño PTAR**

De acuerdo con lo estipulado en el art. 166 de la resolución 0330/2017 "Caudal de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales: para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, deberán tenerse en cuenta los caudales indicados en la **Tabla 1**.

*Tabla 2 Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales. Adaptado de Res.0330/2017*

<b>Caudal</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicación</b>
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR	-Caudal medio de referencia -Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos -Sistemas lagunares
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados	-Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de grasa y sedimentadores primarios y secundarios).

		-Desarrollo de estrategias operativas. -Conductos de interconexión de unidades de proceso.
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados	-Dimensionamiento de tanques de regulación. -Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos. -Dimensionamiento de dosificación química.
Caudal máximo mensual	Caudal promedio diario para el mes con el mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados	-Dimensionamiento de biorreactores. -Dimensionamiento del almacenamiento de químicos.

El caudal medio corresponde al valor medio calculado de acuerdo con el art 134, inciso tres, más un caudal de infiltración, teniendo en cuenta un aporte de 0.1 L/s.ha. Y para el cálculo de los caudales máximo horario, máximo diario y máximo mensual, se debe tener en cuenta los factores pico para caudales de tratamiento de aguas residuales mencionados en la tabla 2 adaptada del art. 166 de la resolución 0330/2017.

*Tabla 3 Factores pico para caudales de Tratamiento de aguas residuales. Adaptado de Res. 0330/2017*

<b>Rango de Caudales (L/s)</b>	<b>Factor máximo horario</b>	<b>Factor máximo diario</b>	<b>Factor máximo mensual</b>
<b>0 - 10</b>	4	3	1.7

<b>Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 10 y 90 L/s se interpolarán linealmente.</b>			
<b>90</b>	2.9	2.1	1.5
<b>Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 90 y 700 L/s se interpolarán linealmente.</b>			
<b>Mayor a 700</b>	2	1.5	1.2

### **Caudal medio de diseño**

El art. 134 de la resolución 0330/2017 manifiesta que el caudal medio diario de aguas residuales es la suma de los aportes domésticos, comerciales, institucionales e industriales.

El caudal medio diario de aguas residuales (QMD) se define según la ecuación dada en el numeral D.3.3.4 del RAS2016 y lo estipulado en el inciso No.3 del art.134 resolución 0330/2017:

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

*Ecuación 4. Caudal medio diario*

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

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

estimación debe basarse, en lo posible, en información histórica de consumos o patrones de consumo, mediciones periódicas y evaluaciones regulares. Para su estimación en el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones (MINVIVIENDA, 2016):

### *Domésticas (Q<sub>D</sub>)*

El aporte doméstico (Q<sub>D</sub>), 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

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

### *Ecuación 5. Formula de aguas residuales domesticas*

Donde

- **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.
- **P:** es la población servida y se estimada al año del periodo de diseño.
- **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.

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”

De acuerdo con lo anterior, el aporte doméstico se calcula con la ecuación mencionada anteriormente y se suman los aportes o contribuciones industriales, comerciales e

institucionales.

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.

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 2. (MINVIVIENDA, 2017)

*Tabla 4 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. Adaptado de res. 0330/2017*

<b>ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA</b>	<b>DOTACION NETA MAXIMA (L/HAB*DIA)</b>
<b>&gt;2000 m.s.n.m</b>	120
<b>1000 – 2000 m.s.n.m</b>	130
<b>&lt;1000 m.s.n.m</b>	140

### ***Industrial (Q<sub>I</sub>)***

Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por las industrias, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesadas en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, los aportes de aguas residuales industriales Q<sub>I</sub> deben ser determinados para cada caso en particular, con base en

información de censos, encuestas y consumos industriales, estimativos de ampliaciones y consumos futuros. (MINVIVIENDA, 2016)

Para los sistemas de todos los niveles de complejidad, es necesario elaborar análisis específicos de aportes industriales de aguas residuales, en particular para zonas netamente industriales e industrias medianas y grandes, ubicadas en zonas residenciales y comerciales. De acuerdo con la tabla 5, las contribuciones de aguas industriales se estiman a partir de los aportes para cada nivel de complejidad. (MINVIVIENDA, 2016)

*Tabla 5 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas. Adaptado de Título E RAS2016*

<b>Nivel de complejidad del sistema</b>	<b>Contribución Industrial (L/s.Ha Ind)</b>
<b>Bajo</b>	0.4
<b>Medio</b>	0.6
<b>Medio Alto</b>	0.8
<b>Alto</b>	1.0

### ***Comerciales (Qc)***

En caso de que en la zona objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas residuales existan zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales comerciales debe justificarse a través de un estudio detallado, ya sea de los consumos actuales, de los suscriptores comerciales, ó con base en los consumos diarios por persona, número de personas en áreas comerciales y en coeficientes de retorno mayores que los de consumos domésticos, para aquellos casos en que no exista información comercial de consumos históricos. En caso de que en el área objeto del proyecto existan zonas mixtas, comerciales y residenciales, los caudales comerciales deben estimarse teniendo en cuenta la



concentración comercial relativa a la concentración residencial, utilizando una contribución de caudal comercial correspondiente a 0,5 L/s por ha comercial. (MINVIVIENDA, 2016)

### ***Institucional ( $Q_{IN}$ )***

El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de estas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector institucional, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesados en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales  $Q_{IN}$  deben determinarse para cada caso en particular, con base en información de consumos de entidades similares registrados en la localidad. Sin embargo, para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse en 0,5 L/s por ha institucional. (MINVIVIENDA, 2016)

### **Caudal de infiltración ( $Q_{inf}$ )**

Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas, a través de fisuras en las tuberías, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de tuberías con cámaras de inspección y demás estructuras. (RAS 2016 NUMERAL D.3.3.3.6).

De acuerdo con lo manifestado en el art.166 de la resolución 0330/2017 el caudal de infiltración se estima teniendo en cuenta un aporte de 0.1 L/s.ha

### **Tratamiento de Aguas Residuales**

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) o Estación Depuradora de Aguas

Residuales (EDAR), es el conjunto de procesos y operaciones unitarias encaminadas a la depuración de las aguas residuales antes de su vertido al cuerpo receptor, mitigando el daño al medio acuático. (Lozano, 2012)

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir un efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido (también llamado fango o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Al tratamiento de aguas residuales también se lo denomina depuración de aguas residuales para diferenciarlo del tratamiento de aguas potables. (Lema, 2016)

El objetivo de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR) es el reducir una cantidad de contaminantes presentes en el agua, a tal nivel, que esa agua pueda ser vertida nuevamente a cuerpos de agua receptores, sin el perjuicio de afectar el medio acuático y la capacidad auto depuradora del sistema. (MINAMBIENTE, 2002)

El método o sistema de tratamiento que se utilice para el tratamiento de las aguas residuales depende fundamentalmente de las concentraciones de los contaminantes, así como del caudal del efluente (Caudal de diseño). Y dependiendo de lo que se quiera eliminar será el tipo de tratamiento que se realice. (Lema, 2016)

Los métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se les conocen como operaciones unitarias; y los métodos con base en procesos químicos o biológicos para la eliminación de los contaminantes se conocen como procesos unitarios. Actualmente, se combinan operaciones unitarias con procesos unitarios para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario. (Lema, 2016)

El tratamiento de las aguas residuales puede realizarse en diferentes tipos: el tratamiento físico, que consiste en la separación de sustancias insolubles en suspensión (grasas, aceites,

hidrocarburos, etc) y sólidos en suspensión (arenas, óxidos, pigmentos, fibras, etc), el tratamiento químico, que se emplea cuando los contaminantes están disueltos, se recurre a tratamientos químicos para precipitarlos, neutralizarlos, oxidarlos o reducirlos, según corresponda; y el tratamiento biológico, que se basa en el uso de microorganismos (especialmente bacterias) que descomponen y asimilan las sustancias indeseables presentes en el efluente. (Lema, 2016)

### **Etapas de Tratamiento de Aguas Residuales**

El gran proceso de tratamiento de aguas residuales que se lleva a cabo al interior de una planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR, necesario para la disminución de las concentraciones de contaminantes se divide en varias etapas:

#### **Tratamiento Preliminar o Pre-tratamiento.**

Su finalidad es eliminar los sólidos gruesos, sólidos finos, aceites y grasas. Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones y el funcionamiento de las obras de tratamiento. (Rojas, 2002)

Este es un paso en el que se prepara el agua residual para facilitar los tratamientos, además de proteger la instalación de erosiones y taponamientos. (Lema, 2016)

De acuerdo con (Rojas, 2002), el principal objetivo es la eliminación de sólidos gruesos por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante.

#### **Tratamiento primario**

Esta etapa tiene como objetivo eliminar, por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales; se logra bien sea de manera libre, o asistida con

químicos que aglomeran las partículas (floculantes) para que ganen peso y decanten con mayor velocidad. (Lozano, 2012)

Estos sólidos suspendidos eliminados son, en su mayoría, materia orgánica, por lo cual se presenta una reducción importante en la concentración de DBO del efluente. (Lozano, 2012)

Las operaciones físicas o tratamiento primario se emplean para la separación de sólidos de gran tamaño, sólidos suspendidos y flotantes, grasas y compuestos orgánicos. (Gomez, 2013)

El principal objetivo es reducir la materia que se encuentra suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, ya sea con o sin la intervención de reactivos o por medio de oxidación química. (Lema, 2016)

El tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos, entre los tipos de tratamiento primario son: Sedimentación primaria, Flotación, Precipitación química, Filtros gruesos, Oxidación química, Coagulación, floculación, sedimentación y filtración. (Rojas, 2002)

### **Tratamiento Secundario o Tratamiento Biológico.**

El tratamiento secundario, conocido también como depuración o tratamiento biológico de las aguas residuales (TBAR), es entendido como la eliminación de contaminantes mediante

la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores. el tratamiento secundario o biológico busca remover, especialmente, la DBO soluble y los remanentes de materia en suspensión que escaparon del tratamiento primario. (Lozano, 2012)

Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida o disuelta en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación; los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores, son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización, así como el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos aerobios tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, y están compuestos por: a) Filtración biológica b) Lodos activados c) Lagunas de Estabilización: Aerobia, Facultativa, Maduración. (Rojas, 2002)

Estos procesos se emplean para eliminar la materia orgánica disuelta, con la producción de fangos que deberán ser tratados para su reducción, acondicionamiento y su disposición final. (Lema, 2016)

### **Tratamiento Terciario o Tratamiento Avanzado.**

Este tratamiento es la utilización en conjunto de los tratamientos primarios y secundarios para mejorar las características en el vertido final. Con la posibilidad de llegar a tener un agua de calidad apta para actividades agrícolas, industriales e inclusive para la potabilización (Lema, 2016)

Tiene como objetivo la sustracción de algunas sustancias en particular que aún permanezca en las aguas que han salido del tratamiento secundario, las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: Fósforo, nitrógeno, metales y minerales, huevos y quistes de

parásitos, sustancias tensoactivas, Algas, bacterias y virus (desinfección), Radionúclidos, Sólidos totales y disueltos, Temperatura. (Rojas, 2002)

El tratamiento terciario de las aguas residuales puede ser entendido como cualquier práctica adicional a los procesos biológicos secundarios (que remueven materia orgánica biodegradable e inorgánica oxidable), cuyo objetivo es el de eliminar contaminantes orgánicos no biodegradables, organismos patógenos y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. (Lozano, 2012)

### **Sistemas de tratamiento**

En diseño de las estructuras de pretratamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales - PTAR se sugiere realizar la construcción de estructuras de trampa grasas en cada uno de los predios o donde se consideren necesarias, lo más cercanas posibles a la zona de cocina con el fin de remover o eliminar las grasas y aceites no emulsionadas existentes en el agua y provenientes de las aguas residuales de estas zonas.

Adicionalmente, es importante que en la llegada a las estructuras de tratamiento se cuente con un sistema de cribado para la retención de sólidos gruesos y medianos, instalando unas rejillas de retención de sólidos gruesos y medianos en la llegada de la tubería al sistema de tratamiento.

Por otra parte, también es importante contar con un tanque de igualación u homogeneización, que funcionará como tanque regulador de caudales, con el fin de estandarizar los valores del caudal de tratamiento.

Posteriormente, se deben seleccionar las alternativas de tratamiento primario, secundario o

biológico y terciario, dependiendo del tipo del agua residual a tratar, el caudal de diseño y el área disponible para la construcción de las diferentes estructuras de tratamiento.

### **Estructuras de tratamiento preliminar o previo**

#### **Trampa de Grasas**

La trampa de grasas o interceptor de grasas es un receptáculo ubicado entre las líneas de desagüe de la fuente o punto generador del residuo líquido y las alcantarillas, esta permite la separación y recolección de grasas y aceites del agua usada y evita que estos materiales ingresen a la red de alcantarillado público. (Obeid & Ramírez, 2018)

Las grasas, aceites y otros materiales flotantes pueden ser retirados mediante el uso de cajas simples provistas de pantallas y/o con entrada y salida de tuberías acodadas en las que se aprovecha la diferencia de densidad de estas sustancias que tienen flotabilidad natural y que pueden ser separadas y acumuladas en forma de nata, sobre la superficie del agua al interior de la trampa. (Lozano, 2012)

Las grasas y aceites generan enormes trastornos al sistema de recolección de Aguas Servidas, razón por la cual los municipios exigen el acondicionamiento de las descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen funcionamiento de la red de Alcantarillado, de igual forma a locales que manejen aguas residuales de lavado de pisos, equipos y maquinarias, así como de las descargas de lavanderías de ropas. (Obeid & Ramírez, 2018)

Las trampas de grasa deben localizarse lo más cerca posible al punto de generación (cocinas, talleres) y aguas arriba del tratamiento secundario, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores.

Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas. (Obeid & Ramírez, 2018)

Se debe tener en cuenta lo mencionado en la resolución 0330/2017 artículo 172.

**ARTÍCULO 172. Trampas de grasa.** Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, cuando se prevean aportes de grasas y aceites, debe considerarse el ejemplo de sistemas de remoción de los mismos, con el fin de proteger los procesos de tratamiento subsiguientes, tales como: pozos sépticos, filtros anaeróbicos, campos de infiltración, humedales, artificiales, entre otros.

Las trampas de grasa deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual con grasas (generalmente la cocina), y aguas arriba el tanque séptico o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo, para prevenir problemas de obstrucción, adherencias, acumulaciones en las unidades de tratamiento y malos olores.

Como parámetros generales de diseño deberán tenerse en cuenta los siguientes:

1. El volumen de la trampa de grasa se calculará para un período de retención mínimo de 2,5 minutos.
2. La relación largo-ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendida entre 1:1 a 3:1, dependiendo de su geometría.
3. La profundidad útil deberá ser acorde con el volumen calculado partiendo de una altura útil mínima de 0,35 m.

Parágrafo 1°. Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente, para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La limpieza



debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa y debe disponerse de acuerdo con lo previsto en la sección quinta de esta resolución.

Parágrafo 2°. En aquellos casos en los que se disponen de un sistema de manejo de aguas grises, éstas no deberán ingresar al pozo séptico. Las mismas, podrán ser reutilizadas o, de otra manera, deberán conectarse con el sistema postratamiento.

### **Cribado de sólidos**

Su principal objetivo es la separación de material suspendido de gran tamaño (basura). El tamaño del material separado puede ser muy variable (desde troncos, botellas, trapos, etc, hasta semillas, colillas de cigarro, hojas de árbol, etc). La separación del material se realiza al hacer pasar la corriente de agua a través de una estructura tipo coladera (criba o rejilla).

(Marín & Osés, 2013)

En la llegada de la tubería PVC del sistema de alcantarillado al tanque de llegada o entrada de la planta de tratamiento se debe instalar unas rejillas de cribado de sólidos gruesos y medianos.

Las rejillas o también llamadas cribas, se utilizan para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. La principal función es ser un elemento de protección de la planta, ayuda a preservar bombas, equipos mecánicos y prevenir la obstrucción de válvulas. Es por eso que es el primer proceso que se efectúa en un efluente de agua residual. (Lema, 2016)

Para el diseño del sistema de cribado de sólidos se tiene en cuenta lo estipulado en el **ARTÍCULO 186 de la resolución 0330/2017. Requisitos mínimos de diseño para rejillas.** Las rejillas deben colocarse aguas arriba de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua

residual sin tratar. Se consideran rejas gruesas aquellas en que sus barrotes distan entre sí de 4 a 10 cm, rejas medias entre 2 y menores de 4 cm, y rejas finas entre 1 y menores de 2 cm. La velocidad máxima de aproximación debe ser de 1,2 m/s para caudal máximo y de 0,3 m/s para caudal mínimo. La limpieza de las rejas medias o finas se podrá hacer manual o mecánicamente; debe considerarse el empleo de rejas de limpieza mecánica para caudales medios de diseño iguales o superiores a 100 L/s.

**ARTÍCULO 187. Requisitos mínimos de diseño para tamices.** Los tamices pueden emplearse como sustitutos del tratamiento primario con orificios menores de 1,5 mm; su ubicación será la misma de los sistemas de rejillas finas. A continuación, se indican los criterios de diseño que se requiere tener en cuenta Tabla 5.

*Tabla 6. Criterios de diseño para tamices. Adaptado de Res.0330/2017*

<b>Tipo de tamiz</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Capacidad hidráulica (m<sup>3</sup>/min*m<sup>2</sup>)</b>
<b>Fijo inclinado</b>	Medio 0.25 – 1.5	0.6 – 2.4
<b>Tambor rotativo</b>	Medio 0.25 – 1.5	0.005 – 0.040
<b>Centrífugo</b>	Fino - Medio 0.010 – 0.5	0.010 – 0.05

#### **Tanque de igualación u homogeneización (regulador de caudales)**

Se debe asegurar una regulación de caudales y de características fisicoquímicas en el tiempo, antes del vertido a la red de alcantarillado o previo a la entrada del sistema de depuración. Este tanque recibe los afluentes variables de aguas residuales de proceso y los iguala.

Generalmente, los procesos industriales, por su naturaleza misma, usualmente generan flujos de aguas residuales de características disímiles y de caudales notoriamente variables en el tiempo. Esto es nocivo para los sistemas de depuración (tanto biológicos como fisicoquímicos) debido a que no logran adaptarse bien a las oscilaciones permanentes de carga contaminante y de caudal.

(Lozano, 2012)

En estos casos, y a menos que se empleen reactores de flujo secuencial (SBR), se debe asegurar una regulación de caudales y de características fisicoquímicas en el tiempo, antes del vertido a la red de alcantarillado o previo a la entrada del sistema de depuración. Este tanque recibe los afluentes variables de aguas residuales de proceso, los homogeniza mediante el empleo de una turbina o mezclador (que además mantiene condiciones aerobias en el tanque) y los va descargando a la depuradora o a la red, mediante un sistema de bombeo, a un caudal constante.

(Lozano, 2012)

La función principal del tanque es disminuir las variaciones del caudal; el caudal que ingresa a una planta de tratamiento presenta variaciones. En las plantas pequeñas, el caudal máximo ( $Q_{max}$ ) puede ser cuatro veces o más que el caudal medio ( $Q_{med}$ ) y el caudal mínimo ( $Q_{min}$ ) puede ser cercano a cero. Esto complica, tanto la construcción (tuberías, equipos de medición, tanques, etc), como la operación (dosificación, suministro de aire, etc). (Marín & Osés, 2013)

Un tanque de igualación de caudales, generalmente, cumple también la función de regular los picos de las características del agua vertida.

Con el fin de regular caudales y de esta manera estandarizar el caudal de entrada a las unidades de tratamiento, se propone la construcción de un tanque de igualación u homogeneización, que a la vez permitirá remover arenas, gravillas y material en suspensión que no fue retenido en el proceso de cribado.

Según (Lozano, 2012), en términos generales, las funciones que desempeña un tanque de igualación son:

- Minimizar y controlar las fluctuaciones de caudal y características variables de las aguas residuales.
- Amortiguar flujos transientes (flujos pico de caudal o de características fisicoquímicas

específicas).

- Estabilizar los valores de pH.
- Brindar un flujo continuo a los sistemas de tratamiento.

Las variaciones de caudal presentan problemas usualmente de tipo operativo, razón por la que los tanques de homogenización son opción para superar esta dificultad generando así efluentes constantes, además; reduce el tamaño y los costos de las unidades de tratamiento ubicadas aguas abajo. (Lapsolite, 2021)

La homogenización es una práctica útil en plantas pequeñas de tratamiento que experimentan variaciones entre los máximos y mínimos caudales y cargas contaminantes efluentes. Existen dos tipos de unidades para la homogenización de caudales denominados unidad en línea o unidad de derivación. Pueden ser tanques de homogenización en línea y difusa. Los primeros se deben diseñar para lograr mezcla completa para amortiguar la concentración. (Lapsolite, 2021)

Estrictamente se puede decir que la homogenización se refiere a unificar las características del agua residual e igualación cuando se requiere regular el flujo o caudal. (Lapsolite, 2021)

Se requiere que este tanque (homogenización o igualación) debe mantenerse bien mezclado para prevenir malos olores y sedimentación de sólidos.

### **Desarenador**

En el desarenador, como lo indica su nombre, se remueven las partículas de arena y similares, que tienen un peso específico de cercano a  $2,65 \text{ g/cm}^3$  y tamaños superiores a los  $0,15 \text{ mm}$  de diámetro (e.g. cáscaras, semillas). Este tipo de partículas presentes, especialmente, en las aguas residuales urbanas y muy rara vez en las de tipo industrial,

causan abrasión y daños en las tuberías y en otros equipos de la depuradora. (Gomez, 2013)

Los desarenadores consisten, simplemente, en un ensanchamiento del canal de pretratamiento, en donde la velocidad del agua disminuye lo necesario para permitir la sedimentación de las partículas discretas, pero no lo suficiente para que se presente asentamiento de la materia orgánica. Su diseño está soportado, entonces, en las velocidades de sedimentación de las partículas que quieren removerse, las cuales son explicadas mediante las fórmulas de Stokes (flujo laminar), Newton (flujo turbulento) y Allen (régimen transitorio). (Gomez, 2013)

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento. (Marín & Osés, 2013)

### **Estructuras de tratamiento primario**

La remoción de sólidos gruesos y finos de origen orgánico e inorgánico presentes en las aguas residuales se retiran mediante operaciones unitarias como desarenadores y sedimentadores, así como en procesos biológicos que igualmente operan como éstos últimos. Es propio de estas unidades su baja eficiencia de remoción de sólidos suspendidos, DBO y E. Coli razón por la cual se conocen como operaciones que integran el tratamiento primario. (Lozano, 2012)

## **Sedimentador**

Según (Orjuela & Rubio, 2019) “Los sedimentadores son diseñados para remover la materia orgánica soluble y coloidal que permanece después del tratamiento primario. Se encuentran varios tipos de sedimentación como:”

- **Sedimentación primaria:** para remover sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas, reduciendo el contenido de sólidos suspendidos.
- **Sedimentación intermedia:** para remover sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios como los filtros percoladores de primera etapa.
- **Sedimentadores secundarios:** para remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como los procesos de lodos activados y los filtros percoladores.
- **Sedimentadores terciarios:** para remover sólidos suspendidos y floculados, o precipitados químicamente en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Estas unidades pueden estar unidas a manera de última cámara de un tanque séptico (lo que disminuye costos de construcción) o pueden ser unidades independientes (lo que facilita las labores de limpieza y mantenimiento). (Lozano, 2012)

**Según la resolución 0330/2017 en ARTÍCULO 189. Requisitos mínimos de diseño para sedimentadores primarios.** Los sedimentador primarios se utilizan como tratamiento previo al reactor biológico de lodos activados con edades de lodos inferiores a los 15 días. Así mismo, se emplean como proceso anterior a los filtros biológicos.

Los lineamientos técnicos que se requiere tener en cuenta son los siguientes:

1. Para sedimentadores primarios sin barrelos las pendientes de fondo deberán estar entre  $45^\circ$  y  $65^\circ$ . Este tipo de sedimentadores se emplean hasta caudales de 6 L/s.
2. Para caudales mayores a 6 L/s será necesario emplear sistemas barrelos auxiliares, para la concentración y extracción de los lodos, con pendiente de fondo entre 5 a 10% para sedimentadores circulares y 1% para sedimentadores rectangulares.
3. El tanque debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. En el caso de tanques rectangulares la relación longitud-ancho debe estar entre 1,5:1 y 15:1. En cuanto a tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 45 m. La profundidad debe estar entre 2,5 y 4m.
4. Debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo con las siguientes tasas mínimas recomendadas de desbordamiento superficial: a. Para caudal medio utilizar entre 30-50  $m^3/m^2$  día. b. Para caudal pico usar entre 80-120  $m^3/m^2$  día.
5. El tiempo de retención hidráulica debe estar entre 1,5 y 2,5 horas.
6. Debe preverse la construcción de más de un sedimentador para caudales medios de diseño iguales o superiores a 100 L/s.

**ARTÍCULO 195.** Requisitos mínimos de diseño para sedimentadores secundarios. Los lineamientos técnicos que deberán ser tenidos en cuenta los siguientes:

1. Para sedimentadores secundarios sin barrelos, las pendientes de fondo deberán estar entre  $45^\circ$  y  $65^\circ$ . Este tipo de sedimentadores se emplean hasta caudales de 6 L/s.

2. Para caudales mayores a 6 L/s será necesario emplear sistemas barrelosos auxiliares para la concentración y extracción de los lodos, con pendiente de fondo entre 5 a 10% para sedimentadores circulares, y 1% para sedimentadores rectangulares.
3. El tanque debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud-ancho debe estar entre 1,5:1 y 15:1. Para el caso de tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 45 m; la profundidad debe estar entre 2,5 y 4 m.
4. Debe elegirse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo con las siguientes tasas mínimas recomendadas de desbordamiento superficial: a. Para caudal medio utilizar entre 16 a 28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día. b. Para caudal pico utilizar entre 40 a 64 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup> día.
5. El tiempo de retención hidráulica debe estar entre 2 y 3,5 horas.
6. Debe preverse la construcción de más de un sedimentador para caudales iguales o superiores a 250 L/s.

### **Tamices**

Por el tamaño de las aberturas que manejan este tipo de unidades, no es recomendable su uso con aguas residuales brutas que traen consigo gran cantidad de elementos gruesos y/o arenas. Aunque varios autores clasifican los tamices como unidades de pretratamiento, los pequeños tamaños de poro que manejan estas unidades permiten la eliminación de una parte considerable de materia orgánica suspendida; por esta razón, el autor considera que los tamices pueden ser clasificados, también, como una unidad de tratamiento primario, útil en la depuración de aguas residuales de tipo industrial. (Gomez, 2013)



Muy pocas industrias tienen la disponibilidad de terreno para construir grandes ecantadores primarios, en consecuencia, los tamices y las unidades de flotación forzada que ocupan mucho menos espacio se constituyen en las unidades de tratamiento primario más empleadas en estos casos. No obstante, aunque el uso de tamices es muy escaso en depuradoras urbanas por su escasa capacidad para manejar grandes caudales, en algunos países latinoamericanos, como México, se usan de manera regular para este tipo de efluentes. (Gomez, 2013)

Los tamices manejan tamaños de abertura entre 0,2 y 3 mm. Están hechos de un tejido de hilos de acero inoxidable, cuya disposición garantiza una superficie que prácticamente no se obstruye y que tiene un alto poder de filtrabilidad. Los tamices pueden clasificarse en:

- Estáticos
- Giratorios

Los tamices estáticos llevan una reja constituida por rejilla horizontal de acero inoxidable, de sección triangular. La inclinación sobre la horizontal disminuye progresivamente de arriba hasta abajo, pasando de unos  $65^\circ$  a unos  $45^\circ$ . El agua entra por arriba y pasa a través de la rejilla, mientras la materia retenida va resbalando por el tamiz y saliendo donde se almacena provisionalmente en contenedores. Así obtenemos sucesivamente la separación, con escurrido y evacuación de las materias sólidas. Los tamices rotatorios están constituidos por una reja cilíndrica de eje horizontal, con barrotes de sección trapezoidal, la cual gira lentamente. (Marín & Osés, 2013)

### **Tanque Imhoff**

La finalidad de este tanque es la remoción de sólidos suspendidos. Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas

residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de lodos sedimentados, en la misma unidad. Por este motivo, también se llaman tanques de doble cámara. (Marín & Osés, 2013)

El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos: cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos y área de ventilación y acumulación de natas. (Marín & Osés, 2013)

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables. Estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación, pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape, existente en el fondo del sedimentador. (Marín & Osés, 2013)

#### **Resolución 0330/2017 en el ARTÍCULO 190. Requisitos mínimo para tanques Imhoff.**

Esta tecnología se debe utilizar para poblaciones entre 500 y 5.000 habitantes.

Los tanques Imhoff se deben dividir en tres cámaras que son: cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos, y el respiradero o área de ventilación del gas. El comportamiento de sedimentación requiere estar diseñado con una tasa de desbordamiento superficial de 25 a 40 ( $m^3/m^2/d$ ) y un tiempo de retención de 2 a 4 horas. La cámara de digestión debe tener una capacidad de almacenamiento de lodo para 6 meses.

Complementariamente, es indispensable disponer de sistemas de secado para los biosólidos extraídos periódicamente. Su disposición final deberá sujetarse a la normativa ambiental vigente, en particular el Decreto 1287 de 2014 “por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”.

## **Estructuras de tratamiento Secundario**

El tratamiento secundario se utiliza para eliminar los desechos y sustancias que, con la sedimentación no se eliminaron, y para remover la demanda bioquímica de oxígeno. Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que facilita que las bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario, a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activados (microorganismos). Estos son tanques que tienen sistemas de burbujeo o agitación, que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. (Marín & Osés, 2013)

### **Lodos activados**

Un reactor de lodos activados mantiene en suspensión a un cultivo microbiano en condiciones aerobias. El proceso hace uso de un sistema de aireación o agitación, el cual suministrará el oxígeno que demandan las bacterias, evitará que haya asentamiento de la biomasa en el reactor y, además, mantendrá homogeneidad del licor mezclado en el tanque. (Gomez, 2013)

Una vez que la materia orgánica ha sido oxidada, el efluente se envía a un sedimentador o decantador secundario en donde se separará el fango (biomasa) del agua. Parte de esta biomasa decantada es recirculada al reactor con el fin de mantener en él una buena concentración de microorganismos y otra parte se desecha (purga), llevándola a

tratamiento de lodos, evitando así acumulaciones excesivas de microorganismos en el sistema que pueden alterar los tiempos de retención celular. (Gomez, 2013)

Los lodos activados son un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales, que utiliza microorganismos para llevar a cabo la descomposición de los residuos. Debido a que los microorganismos crecen y son mezclados por la agitación del aire, se agrupan formando flóculos que a su vez forma una masa microbiana activa llamada “lodo activado”. (Marín & Osés, 2013)

**Según la resolución 0330/2017 el ARTÍCULO 193. Requisitos mínimos de diseño para procesos de lodos activados.** En el tren de tratamiento, el reactor aeróbico podrá localizarse a continuación del tratamiento preliminar, o después de un sedimentador primario, dependiendo del proceso que se vaya a emplear

Para condiciones tropicales, como el caso de Colombia, deberá trabajarse con los valores más altos de los parámetros F/M (relación alimento/microorganismos) y  $L_v$  (Carga volumétrica). El empleo de valores más bajos, deberá  $L_v$  se requiere llevar a cabo estudios-piloto que permitan confirmar los parámetros antes indicados.

El sistema de dosificación debe calcularse de manera cuidadosa para el logro de una distribución uniforme sobre el área superficial del filtro. En condiciones de caudal medio de diseño la dosificación por  $m^2$  no debe exceder más o menos del 10% en cualquier punto del filtro. Se requiere conservar una distancia mínima de 15 cm entre la parte inferior del brazo distribuidor y la parte superior del medio filtrante.

El sistema de drenaje inferior debe cubrir todo el piso del filtro. Las aberturas de entrada de los desagües deben tener un área combinada bruta no sumergida igual a por lo menos 15% del área superficial del filtro.

Los desagües deben tener una pendiente mínima del 1%. Los canales del efluente tienen que estar diseñados para producir una velocidad mínima de 60 cm/s, con base en el caudal medio más a recirculación. Es necesario hacer provisiones para la limpieza de los desagües con agua. En filtros pequeños será aceptable el uso de una canal de carga periférica con ventilación vertical. Deben suministrarse instalaciones para realizar inspecciones.

El sistema de drenaje inferior, los canales de efluente y el conducto del efluente deben diseñarse con adecuada ventilación; para lo anterior deberán dimensionarse con el fin de que no más del 50% de su sección transversal esté ocupada cuando transporten la carga hidráulica de diseño.

Por cada 23 m<sup>2</sup> de área de filtro deberá proveerse 1m<sup>2</sup> de ventanas de ventilación.

### **Filtro anaeróbico de flujo ascendente**

Es un sistema complementario al tanque de decantación-digestión, altamente eficiente.

Puede lograr reducciones de entre un 50 a 70% de DBO, sobre la remoción lograda previamente en el tanque séptico. Consiste en un tanque o cámara cerrada, compuesta por un lecho de grava y gravilla en donde el afluente proveniente del tanque séptico pasa de manera ascendente, a través de los intersticios y la película biológica que se forma sobre la superficie de este material granular, realiza un trabajo de digestión y reducción

anaerobia. (Gomez, 2013)

**ARTÍCULO 175. Filtro anaeróbico de flujo ascendente.** Los filtros anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA) se construyen como una cámara anexa al final del pozo séptico o como una cámara independiente. El lecho filtrante podrá estar constituido por un lecho de grava, con un volumen de 0,02 a 0,04 m<sup>3</sup> por cada 0.1 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales que se van a tratar; también será posible emplear material filtrante plástico, utilizando la mitad del volumen anterior. (MINVIVIENDA, 2017)

### **Manejo de lodos**

Para el manejo de los lodos de exceso, se propondrá una estructura de espesador de lodos.

Las sustancias contaminantes que se degradan en los diferentes procesos de tratamiento generalmente se concentran en los lodos. De ahí que debe ser parte integral de la depuración de las aguas residuales. Diferentes tecnologías existen para ellos en función de su composición y uso final una vez tratado.

Los lodos constituyen un subproducto importante de las plantas de tratamiento de las aguas residuales las arenas, residuos gruesos y lodos (fangos), siendo este último sin duda, el de mayor volumen y el de mayor complejidad en su tratamiento. De ahí que es necesario conocer la procedencia, cantidad y las características de los lodos.

El espesamiento de lodos es generalmente la primera etapa del tratamiento de lodos; puede hacerse por gravedad o flotación con aire disuelto para mejorar la operación de los digestores y disminuir el volumen de lodos principalmente. Se entiende por espesamiento, a la separación para producir lodo concentrado (Romero R., J., Op. Cit).

El espesamiento por gravedad: Se obtiene a partir de la utilización de sedimentadores provistos con barredoras de lodos para obtener un lodo más concentrado que el aplicado.

Para el diseño de esta estructura se tiene en cuenta lo estipulado en los artículos 211 de la resolución 0330/2017.

**ARTÍCULO 211. Requisitos mínimos de diseño para procesos de manejo de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.** Se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño.

*Tabla 7 Criterios de diseño para espesadores de lodos por gravedad. Tomado de Res 0330/2017*

<b>Tipo de lodo</b>	<b>Carga de lodos (Kg/m<sup>2</sup>.día)</b>	<b>Carga hidráulica máxima de rebose (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día)</b>
<b>Lodo primario</b>	100 – 150	15.5 - 31
<b>Lodo secundario de filtro biológico</b>	40 – 50	-
<b>Lodo secundario de lodos activados</b>	20 – 40	- 8

*Tabla 8 Criterios de diseño para digestores anaeróbicos completamente mezclados. Tomado de Res. 0330/2017*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Volumen		
<b>Lodo primario</b>	M <sup>3</sup> /hab	0.03 – 0.06
<b>Lodo primario + lodo secundario de filtro biológico</b>	M <sup>3</sup> /hab	0.07 – 0.09

<b>Lodo primario + lodo activado</b>	M3/hab	0.07 – 0.11
<b>Carga de sólidos</b>	Kg SSV/m3.d	1.6 – 4.8
<b>Tiempo de retención de sólidos</b>	Días	15 - 20

*Tabla 9 Requerimientos de área para lechos de secado a cielo abierto. Tomado de Res. 0330/2017*

<b>Tipo de biosólido</b>	<b>Área (m2/persona)</b>	<b>Carga de sólidos (kg/m2.año de sólidos secos)</b>
<b>Primario digerido</b>	0.1	120 – 150
<b>Filtro percolador digerido</b>	0.12 – 0.16	90 – 120
<b>Lodos activados digeridos</b>	0.16 – 0.24	60 - 100

Cada uno de los procesos de tratamiento presenta unas eficiencias para la depuración y/o eliminación de las cargas contaminantes de acuerdo con cada uno de los parámetros tenidos en cuenta en la caracterización de las aguas residuales.

La resolución 0330/2017 en el **ARTÍCULO 184. Eficiencias de los procesos de tratamiento.**

De acuerdo con la eficiencia necesaria del tratamiento existen diferentes alternativas para lograr el objetivo. La tabla 10 presenta los rangos de eficiencia que se deben lograr en los procesos de tratamiento.



Tabla 10 Rangos de eficiencia en los Procesos de tratamiento. Tomado de Res. 0330/2017

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10-50	0-6	0-40	N/A	Remociones con militamices y microcribas
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	0-5	0-3	10-15	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	-30-50	
Tratamiento Secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas
	Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundaria
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lodos activados (convencionales)	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90	
	Filtros percoladores De alta tasa, roca De alta tasa, plástico	65-90 75-95	55-70 60-80	60-85 65-85	N/A N/A	N/A N/A	80-90 80-90	
Desinfección	Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99	

## **METODOLOGIA**

Se tiene como punto de base o referencia el título E 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 a cumplir en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Por otra parte, también se cuenta con la resolución 0631 de 2015, donde se establecen los parámetros y valores máximos permisibles para vertimientos puntuales sobre fuentes de aguas superficiales.

Teniendo en cuenta esta normatividad existente, y tomando también como punto de referencia listas de chequeos emitidas por los entes gubernamentales encargados de realizar la revisión, control y aprobación de este tipo de proyectos, se realizarán las siguientes actividades con el fin de dar cumplimiento al objetivo planteado mediante esta investigación:

- Revisión sistemática de la literatura relacionada con los estudios y diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales, esto incluye la revisión de la normatividad actual vigente en el país y las guías técnicas del RAS.
- Consulta de documentos que estipulen los diferentes lineamientos y requisitos a tener en cuenta para la presentación de este tipo de proyectos ante un ente gubernamental.
- Realizar una revisión de estudios y diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales existentes, identificando las falencias o dificultades presentadas en el desarrollo.
- Formulación y elaboración del procedimiento necesario a seguir para realizar una correcta selección de las alternativas de tratamiento y correcto diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

La investigación a realizar mediante este trabajo 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 tratamiento de aguas residuales, y se plasmarán en el informe final, donde se tendrá como resultado la Guía o manual para proyectos de estudios y diseños de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en zonas rurales y urbanas, logrando una estandarización del proceso que sea útil para los ingenieros civiles.

## RESULTADOS

La fase de diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el municipio contempla importantes aspectos como la identificación de la mejor alternativa de tratamiento de aguas residuales que garantice el cumplimiento de las remociones de contaminantes esperadas en el marco de una adecuada administración y operación del sistema. (MINAMBIENTE, 2002)

Para la identificación de una alternativa de tratamiento de aguas residuales se requiere de un análisis de ventajas y desventajas de las tecnologías disponibles relacionadas con las características biofísicas y socioeconómicas del municipio. (MINAMBIENTE, 2002)

Cada diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales es diferente y/o particular, pero en todos se debe tener en cuenta las siguientes variables o seguir los siguientes pasos para realizar una buena selección de la alternativa de tratamiento, y por ende el diseño de las diferentes estructuras:

1. Estudio y/o caracterización de la calidad de agua residual a tratar, con el fin de conocer y determinar las características y/o parámetros físicos, químicos y microbiológicos del AR, junto con las concentraciones de contaminantes.
2. Cálculo de los caudales de diseño para las diferentes estructuras de la Planta de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta la población al año del periodo de diseño a beneficiar, y los parámetros estipulados en la resolución 0330/2017 en el artículo 166 para el cálculo de dicho caudal.
3. Determinación de la carga contaminante a partir de las concentraciones de cada uno de los parámetros estipulados en el artículo **169 “Línea base de caracterización del agua residual cruda”** y el caudal de diseño con la siguiente ecuación:

$$L \left( \frac{kg}{dia} \right) = [ ] parametro \left( \frac{mg}{L} \right) * Q Diseño \left( \frac{L}{s} \right)$$

Se debe tener en cuenta que se deben realizar las respectivas conversiones necesarias para que las unidades de medida de las cargas contaminantes estén expresadas en Kg/día.

4. Selección de las alternativas de tratamiento a aplicar, teniendo en cuenta las eficiencias de cada uno de los tratamientos, de acuerdo con lo estipulado en la resolución 0330/2017 en el **ARTÍCULO 184. Eficiencias de los procesos de tratamiento.**
5. Verificar mediante un balance de cargas que el agua residual saliente de la PTAR propuesta, según las alternativas de tratamiento seleccionadas, cumplan con los valores máximos permisibles estipulados en la resolución 0631 de 2015. De esta manera se garantizará que no se genere un impacto ambiental negativo sobre la fuente en la que se realiza la descarga del agua que sale de la PTAR.
6. Proceder a realizar el diseño hidráulico de las diferentes estructuras de tratamiento propuestas, teniendo en cuenta los criterios estipulados en la resolución 0330/2017 para cada una de las estructuras.

## CONCLUSIONES

Es de gran importancia tener claras cada una de las variables o aspectos a tener en cuenta para la selección de las alternativas de tratamiento y el posterior diseño de cada una de las estructuras de tratamientos de aguas residuales, teniendo en cuenta y garantizando el cumplimiento de la normatividad actual vigente Resolución 0330/2017 y resolución 0631 del 2015, en lo correspondiente con parámetros de diseño para sistemas de tratamiento y calidad de aguas residuales, respectivamente.

Como futuros ingenieros civiles, es muy gratificante e importante desarrollar este tipo de investigaciones que pueden generar un gran impacto en la comunidad de estudiantes, docentes e ingenieros civiles en general, pues aportará ideas necesarias, indispensables para tener en cuenta al momento de planear o ejecutar un proyecto relacionado con el tratamiento de aguas residuales.

A través del desarrollo de esta investigación se amplió el horizonte de conocimiento relacionado con el tratamiento de aguas residuales, pero que quizás en el transcurso de la carrera universitaria de pregrado no presento un enfoque profundo, dado a que este tipo de temáticas son más comunes encontrarlas en estudios de posgrado.

## BIBLIOGRAFÍA

- E.S.P, E. (2018). *Empresas de Servicio Públicos de Acueducto y Alcantarillado Libano - Tolima*. Obtenido de <http://ovirtual.cortolima.gov.co/docs/acrds/2018/2018a13194.%20TOMO%20VII.pdf>
- Espigares, G. M., & Pérez, L. J. (1985). *Aguas Residuales Composición*.
- 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 .
- Gomez, R. C. (2013). *Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Bogotá D.C: UNAD.
- Lapsolite. (03 de 11 de 2021). *Lapsolite*. Obtenido de <http://www.lapsolite.com.mx/productos/?pro=61&producto=Homogenizaci%C3%B3n&id=1>
- Lema, G. A. (2016). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Luis de Pambil del Cantón Guaranda*. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .
- Lozano, R. W. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá D.C : UNAD.
- Marín, O. A., & Osés, P. M. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el proceso de Lodos Activados* . CEA Jalisco.
- MINAMBIENTE. (2002). *"Gestión para el manejo, Tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales"*. Bogotá D.C: MINAMBIENTE.
- MINAMBIENTE. (2015). *Resolución 0631/2015*. Bogotá D.C: MINAMBIENTE.
- MINDESARROLLO. (2000). *RAS 2000 Título E "Tratamiento de Aguas Residuales"* . Bogotá D.C: MINDESARROLLO.
- MINVIVIENDA. (2016). *Título D "Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y Aguas Lluvias"*. Bogotá D.C: MINVIVIENDA.
- 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.
- Obeid, M. K., & Ramírez, C. A. (2018). *Diseño de una trampa de grasas en la planta de Tratamiento de aguas residuales en una planta Panificadora ubicada en el Departamento del Atlántico*. Cartagena: Universidad de San Buenaventura.
- Orjuela, P. A., & Rubio, U. E. (2019). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento de aguas residuales para el laboratorio de hidráulica*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.

Rojas, R. (2002). *Curso Internacional "GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" - Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. CEPIS/OPS-OMS.

Romero Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teorías y Principios*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Unidas, N. (s.f.). *Naciones Unidas*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>