DISEÑO Y MONTAJE A ESCALA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (PTAR), COMO MODELO FUNCIONAL PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS, DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA – SAM.

Juan Pablo Charry López
Diego Alejandro Rodríguez Segura
Autores

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA

PROGRAMA DE INGENIERA CIVIL

GIRARDOT

2019-1

DISEÑO Y MONTAJE A ESCALA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (PTAR), COMO MODELO FUNCIONAL PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS, DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA – SAM.

Juan Pablo Charry López
Diego Alejandro Rodríguez Segura
Autores

Jesus Flaminio Ospitia Prada
Tutor

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA

PROGRAMA DE INGENIERA CIVIL

GIRARDOT

2019-1

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO **3**

LISTA DE TABLAS **7**

LISTA DE FIGURAS **8**

GLOSARIO **10**

RESUMEN **14**

ABSTRACT **15**

1. INTRODUCCIÓN **16**

2. MARCO TEÓRICO **20**

2.1 POR QUE USAR UNA PTAR DOMESTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN. 20

2.2 IMPLEMENTACIÓN DE UNA PTAR DOMESTICAS EN LOS LABORATORIOS DE CALIDAD DE AGUA 21

3. MARCO LEGAL **22**

3.1 DECRETO 1594 DE 1984 22

3.2 LEY 142 DE 1994 22

3.3 RAS 2000 TÍTULO E 23

3.4 RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 23

3.5 RESOLUCIÓN 0330 DEL 2017 24

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **25**

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 25

2.2 ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.....25

2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 25

2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 26

5. JUSTIFICACIÓN 27

6. ANTECEDENTES 30

7. OBJETIVOS 32

5.1 OBJETIVO GENERAL.....32

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 32

8. METODOLOGÍA.....34

9. RECURSOS 37

7.1 TALENTO HUMANO.....37

7.2 RECURSOS MATERIALES. 37

7.3 RECURSOS INSTITUCIONALES.....38

10. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR 39

8.1 ULTIMO POZO 41

8.2 CANAL DE APROXIMACIÓN 41

8.3 REJILLA DE TAMIZADO GRUESO.....42

8.4 DESARENADOR 44

8.4.1 Desarenadores de flujo horizontal. 45

8.5 TANQUE DE IGUALACIÓN 52

8.6 TRAMPA DE GRASAS.....52

8.7 CLARIFICADOR EN FORMA DE CONO 55

8.7.1 Clarificadores circulares.....55

8.7.2 Clarificadores rectangulares 55

8.8 AIREADOR 55

8.3.1 DBO carbonácea 58

8.3.2 DBO nitrogenada 58

8.3.3 DBO inorgánica 58

8.9 FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE. 61

8.10 CLORACIÓN 62

8.10.1 Cloración Simple.....64

8.10.2 Cloración Respecto al momento del tratamiento 65

8.10.2.1 Cloración previa o pre cloración 65

8.10.2.2 Cloración Posterior.....65

8.10.2.3 Re cloración 66

8.10.3 Cloración Respecto a la demanda de cloro 66

8.10.3.1 Cloración Limitada.....66

8.10.3.2 Tratamiento con cloro y amoníaco 66

8.10.4 Súper cloración sistemática.....67

11. DIMENSIONAMIENTO 68

11.1 DIMENSIONAMIENTO DE TRAMPA DE GRASAS 70

11.1.1 Formulas.....70

11.1.2 Valores obtenidos 73

11.1.3 Diseño final trampa de grasas *74*

11.2 DIMENSIONAMIENTO DE DESARENADOR 75

11.2.1 Formulas *75*

11.2.2 Valores obtenidos *79*

11.2.3 Diseño final desarenador *80*

11.3 DIMENSIONAMIENTO FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE 80

11.3.1 Formulas *80*

11.3.1.1 Composición de lecho filtrante 82

11.3.1.2 Determinación del sistema de drenaje 84

11.3.2 Valores obtenidos *86*

11.3.3 Diseño final filtro de flujo ascendente *87*

11.4 DIMENSIONAMIENTO DE AIREADOR 87

11.4.1 Diseño final aireador *88*

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 89

13. CONCLUSIONES 90

14. REGISTRO FOTOGRAFICO 92

15. ANEXOS 97

16. REFERENCIAS 98

17. BIBLIOGRAFÍA 102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. *Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales*……..40

Tabla 2. *Coeficiente de perdida par rejillas*……44

Tabla 3. *Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo*……51

Tabla 4. *Capacidades de retención de grasas*……...54

Tabla 5. *Tiempos de retencion hiraulicos*……54

Tabla 6. *Parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados*……57

Tabla 7. *Tipos de aireadores*……59

Tabla 8. *Velocidades de flujo ascendente para el diseño de reactores UASB*…….62

Tabla 9. *Dosis de cloro para desinfección normal de aguas residuales domésticas*…..……. 64

Tabla 10. Valores obtenidos para el dimensionamiento de la trampa de grasas….73

Tabla 11. Constante en función del diámetro……75

Tabla 12. Velocidad de sedimentación según el diámetro de la partícula……77

Tabla 13. Coeficiente de seguridad según la velocidad de escurrimiento o sedimentación…… 78

Tabla 14. Valores obtenidos para el dimensionamiento del desarenador……79

Tabla 15. Valores obtenidos para el dimensionamiento del filtro de flujo……..86

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Planta de tratamiento de aguas residuales 16

FIGURA 2. Contaminación de afluentes por el no tratamiento de las aguas residuales domésticas 18

FIGURA 3. Contaminación por aguas residuales industriales no tratadas 19

FIGURA 4. Aguas residuales urbanas. 19

FIGURA 5. Composición en porcentajes del agua residual doméstica.....28

FIGURA 6. PTAR con lodos activados 29

FIGURA 7. Diferentes formas de rejilla.....44

FIGURA 8. Pantallas para desarenador de flujo horizontal 46

FIGURA 9. Ciclón desarenador 47

FIGURA 10. Desarenador de flujo horizontal.....47

FIGURA 11. Desarenadores aireados 49

FIGURA 12. Desarenadores de tipo vórtice.....50

FIGURA 13. Trampa de grasas vista frontal. 74

FIGURA 14. Trampa de grasas vista superior. 74

FIGURA 15. Desarenador vista frontal. 80

FIGURA 16. Filtro de flujo vista frontal.....87

FIGURA 17. Aireador vista frontal.....88

FIGURA 18. Láminas de acrílico para la construcción del modelo funcional a escala PTAR domésticas, fotografía tomada por los autores……..92

FIGURA 19. Construcción de la trampa de grasas, fotografía tomada por los autores…….92

FIGURA 20. Construcción de la trampa de grasas, fotografía tomada por los autores…….93

FIGURA 21 Finalización de la trampa de grasas, fotografía tomada por los autores…….93

FIGURA 22. Construcción del desarenador, fotografía tomada por los autores…..94

FIGURA 23. Elementos para el modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, fotografía tomada por los autores……94

FIGURA 24. Montaje bomba de circulación modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores……95

FIGURA 25. Vista frontal modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores……..95

FIGURA 26. Vista posterior modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores……..96

FIGURA 27. Montaje final del modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores…….96

GLOSARIO

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda de oxígeno Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Demanda Química de Oxígeno (DQO) Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o bicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Desarenadores Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena). (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Cargue hidráulico o carga superficial Medida en (m3/m2*día) la cual puede ser entendida como un caudal o un parámetro de unidad de área por tiempo, el cual se utiliza para algunos dimensionamientos.

Coliformes Bacterias Gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37ºC (Coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5ºC se denominan Coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Efluente final Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Efluente Líquido que sale de un proceso de tratamiento. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

pH Unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada, el significado de sus siglas es “potencial de hidrogeniones”, el pH se ha convertido en una forma práctica de manejar cifras de alcalinidad, en lugar de otros métodos un poca más complicados. (P, S.F.)

Planta de tratamiento de aguas residuales conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables

de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. (AGUASISTER, S.F.)

Población equivalente Población estimada al relacionar la carga total o volumen total de un parámetro en un efluente (DBO, sólidos en suspensión, caudal) con el correspondiente aporte per cápita (kg DBO/hab/día), L/hab/día. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Sedimentación proceso por el cual los materiales son transportados por distintos agentes (escorrentía, glaciares, viento) y procedentes de la erosión y la meteorización de las rocas son depositados, pasando a ser sedimentos. (WIKIPEDIA, 2019)

Tanque séptico Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas; combina la sedimentación y la digestión. Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descargan normalmente en una instalación de tratamiento. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Tratamiento anaerobio Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

Vertederos Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000)

RESUMEN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales, son un sistema para tratar aguas, en donde se busca reducir su índice de contaminación por medio de tratamientos a esta.

Aplicar plantas de tratamiento de aguas residuales en la ingeniería civil es un factor que puede hacer que los futuros ingenieros analicen la probabilidad de diseñar proyectos que incluyan estas plantas y así ayudar con el tratamiento del agua desde el punto inicial de las aguas residuales.

Este proyecto se enfoca generar un laboratorio donde se analice algunas de las fases de tratamiento que existen en diversas plantas de tratamiento de aguas residuales, como lo es un aireador, desarenador, trampa de grasas y filtro de flujo ascendente, igualmente se busca que los estudiantes que realicen estos laboratorios.

Finalmente, se diseña una guía para el uso del modelo funcional a escala de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas con el fin de ofrecerles a los estudiantes un mejor entendimiento del proceso que se observa durante el funcionamiento de esta.

ABSTRACT

Wastewater treatment plants are a system for treating water, where it is sought to reduce its pollution rate through treatments to it.

Applying wastewater treatment plants in civil engineering is a factor that can make future engineers analyze the probability of designing projects that include these plants and thus help with the treatment of water from the initial point of wastewater.

This project focuses on generating a laboratory where some of the treatment phases that exist in various wastewater treatment plants are analyzed, such as an aerator, sand trap, grease trap and upflow filter, it is also intended that students Let these laboratories do.

Finally, a guide is designed for the use of the functional scale model of the domestic wastewater treatment plant in order to offer students a better understanding of the process observed during its operation.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como se observa en la figura 1, son sistemas hidráulicos, que tienen como función principal, eliminar la mayor cantidad de sustancias químicas y partículas de gran tamaño, tóxicas para los afluentes hídricos naturales y el medio biológico que los rodea. Este sistema es útil para las plantas industriales, y alcantarillados residenciales y comerciales, ya que son los medios que más contaminación traen a las fuentes hídricas naturales debido a que es el punto de disposición final de estas aguas contaminadas.

FIGURA 1. Planta de tratamiento de aguas residuales, fotografía recuperada de (CICI, 2017)

Las aguas residuales son generadas por todas las actividades diarias del ser humano las cuales provienen del hogar, las industrias, el comercio entre otros; generan un gran impacto al ambiente si no son tratadas, ya que llevan contaminantes como grasas, elementos químicos y materias fecales que van deteriorando el ambiente de los afluentes donde finalmente son depositadas, el

deber ser para depositar estas aguas nuevamente a las fuentes hídricas es que sean tratadas previamente, pero industrias piratas no realizan esta actividad ya que genera costos con los cuales no corren, mientras que las empresas que se desarrollan bajo la leyes si no tienen plantas de tratamiento dentro de sus procesos antes de depositar las aguas realizan un respectivo tratado del agua ya sea con elementos químicos como el cloro o por medios anaeróbicos como la implantación de bacterias para reducir la contaminación del agua.

El agua residual se clasifica según su composición, pero hay tres tipos que son los que predominan cuando se habla de aguas residuales los cuales son:

- **Aguas residuales domesticas:** compuestas por grasas, material particulado, químicos y residuos sólidos, estas aguas residuales provienen de las actividades diarias del hogar. En todas las actividades domésticas se presentan contaminantes que afectan finalmente de manera directa o indirecta la calidad del agua, puede contener elementos como:
    - Solidos
    - Desechos orgánicos
    - Detergentes
    - Jabones
    - Grasas

A estas aguas también se les conoce como aguas servidas o aguas negras, el deber ser de estas aguas es tratarlas antes de devolverlas al afluente y así reducir el índice de contaminación que se envía a estos como se muestra en la figura 2 también al

realizar el debido tratamiento del agua se debe aprovechar la reutilización de estas aguas en actividades como el riego ya que al tener sirven para la fertilización del ecosistema gracias a que han tenido contacto con materiales químicos producto de los implementos de aseo personal y para el hogar.

FIGURA 2. Contaminación de afluentes por el no tratamiento de las aguas residuales domésticas, imagen tomada de (CRISTIAN, 2016)

- **Aguas residuales industriales:** son todas las aguas residuales provenientes de las grandes industrias como se muestra en la figura 3, la composición de este tipo de agua varía según el tipo de producción que se genere en las industrias, ya sea de productos alimenticios, producción de químicos, textiles, productos para el hogar, productos automotrices, entre otros. Estas aguas pueden ser tratadas antes de enviarse al afluente donde se depositarán finalmente ya que se puede construir plantas de tratamiento en la planta teniendo en cuenta que estas variarán según la composición del agua residual que genere la planta de producción.

FIGURA 3. Contaminación por aguas residuales industriales no tratadas, imagen tomada de (PEDRO, 2012)

- **Aguas residuales urbanas:** estas aguas se caracterizan por estar compuestas por todas las aguas captadas por las redes de alcantarillado y aguas lluvias, además de todas las zonas comerciales de las zonas urbanas como se muestra en la figura 4, la característica particular de estas aguas es que contienen material particulado flotante como vasos, bolsas y botellas y materiales pesados como gravas y lodos, los cuales se pueden captar al final de la red por medio de desarenadores y filtros antes de ser depositados en el afluente.

FIGURA 4. Aguas residuales urbanas. Imagen tomada de (L.GIL-CARRERA, 2014)

2. MARCO TEÓRICO

Principalmente el objetivo de este trabajo es adquirir experiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas por medio de la implementación de un modelo funcional a escala de PTAR domésticas, en segunda instancia se pone como objeto de estudio las aguas residuales domesticas ya que se busca que los ingenieros civiles que se enfoquen en la construcción de proyectos urbanísticos generen ideas para la implantación de plantas de tratamiento con el fin de ayudar a reducir la cantidad de vertidos que son dirigidos directamente a los afluentes hídricos sin tener un tratamiento previo. La importancia del tratamiento de las aguas residuales es un tema central en los proyectos de desarrollo realizados en la actualidad (LEON PINTO, 2007, pág. 10).

2.1 Por que usar una PTAR domesticas en la construcción.

Las PTAR domésticas, hoy en día son un complemento esencial para las nuevas construcciones ya que como se menciona anteriormente ayudan a reducir el índice de contaminación en los afluentes hídricos, son pocos los proyectos urbanísticos que en la actualidad se diseñan con PTAR domesticas por su elevado costo de construcción, además, estas aguas se pueden dirigir a las zonas de riegos o el lavado vehicular, lo cual disminuye el consumo de agua potable, además como se puede observar en el RAS 2000 y la resolución 0330 del 2017, no son muchos los parámetros de diseño que se deben contemplar.

2.2 Implementación de una PTAR domesticas en los laboratorios de calidad de agua

La idea de diseñar un modelo funcional a escala de PTAR domésticas, principalmente es para mostrarle a los futuros ingenieros civiles la importancia del tratamiento de las aguas residuales domésticas, y así lograr un impacto en las ideas de diseño y construcción que generen durante su vida laboral, además, se busca que observen por medio de los laboratorios que implementen los docentes de la línea de aguas, el proceso de tratamiento aproximado que lleva el agua residual doméstica en una planta de agua residual que ya sea para un mayor volumen de caudal o así mismo que este implementada en algún proyecto urbanístico o una gran ciudad.

Finalmente, se busca que los estudiantes de ingeniería civil observen que la ingeniería no solo se enfoca en calcular y diseñar, sino que también se debe enfocar en el proceso que se genera en las estructuras que se diseñen, que analicen como una pequeña o gran formula aparte de generar un diseño también crea un proceso.

3. MARCO LEGAL

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en general ya sean para el tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales o urbanas se enfoca principalmente en 5 leyes para su diseño, control y gestión las cuales se presentan a continuación:

3.1 Decreto 1594 de 1984

El decreto 1594 de 1984 el cual fue desarrollado por el ministerio agricultura el 26 de junio del 1984 en la ciudad de Bogotá, dictamina el uso y disposición final del agua y residuos líquidos, ya sean aguas superficiales, subterráneas, marinas y esturianas, incluidas las aguas servidas (AGRICULTURA, 1984); como darle un uso y consumo al agua tratada, y hacia donde destinarla según su composición físico-química a parte de las condiciones de calidad en las que el agua debe estar para poder retornarlas a los afluentes hídricos.

3.2 Ley 142 de 1994

La ley 142 de 1994 desarrollada por el Congreso de Colombia el 11 de julio de 1994, la cual rige para los servicios públicos domiciliarios; busca garantizar, atender las necesidades básicas de agua potable y saneamiento básico, prestar servicios sin interrupciones, una prestación eficiente y una ampliación permanente de los servicios públicos más precisamente agua potable y residual (CONGRESO DE COLOMBIA, 1994)

3.3 Ras 2000 título E

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000 el cual fue desarrollado por el Ministerio de desarrollo económico dirección de agua potable y saneamiento básico en la ciudad de Bogotá D.C., en Noviembre del 2000; en su título E “Tratamiento de aguas residuales”, habla acerca de todos los aspectos para el tratamiento de aguas residuales, como caracterizarla, cuales son los parámetros mínimos de diseño y para la calidad del agua los sistemas de tratamiento que deben utilizarse, las metodologías para el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas que trataran el agua residual.

3.4 Resolución 0631 del 2015

La resolución 0631 del 2015 la cual fue desarrollada por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible el 17 de marzo del 2015 en la ciudad de Bogotá, “Establece los parámetros y 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” (SOSTENIBLE, 2015) , esta resolución establece también los parámetros para analizar la calidad del agua en las zonas industriales, comerciales o de servicios.

3.5 Resolución 0330 del 2017

La resolución 0330 del 2017 la cual fue desarrollada por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio, antiguamente conocido como el Ministerio de desarrollo económico el 08 de Junio del 2017 en la ciudad de Bogotá indica que, “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, 066 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009” (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017, pág. No. 1), en esta resolución toma algunos de los títulos del RAS 2000 y los actualiza en sus 258 artículos, al no derogar en su totalidad el RAS 2000, hace que estas 2 leyes trabajen en conjunto, por tal motivo hace que algunos títulos del RAS 2000 queden suspendidos.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del problema

El laboratorio de calidad de aguas de la Universidad Piloto de Colombia –SAM (UPC-SAM), en su área de trabajo no cuenta con un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales domesticas (PTAR), con el cual se pueden realizar estudios para comprender los procesos en un sistema de tratamiento que llevan a obtener una mejor calidad de agua como lo establece la normatividad ambiental colombiana como lo es el decreto 1594 de 1984 y la resolución 631 del 2015.

2.2 Estado actual del problema

Se realizó una verificación de los implementos con los que cuenta actualmente el laboratorio de calidad de aguas de la UPC-SAM, evidenciándose que no se cuenta con un instrumento pedagógico que permita a los futuros ingenieros civiles comprender, analizar, interpretar, demostrar, la eficiencia de un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

2.3 Delimitación del problema

La UPC-SAM, está ubicada en el departamento de Cundinamarca, en la ciudad de Girardot, provincia del Alto Magdalena, barrio la estación, Cra. 19 No. 17- 33. Se pretende diseñar un modelo funcional a escala PTAR para uso de aguas residuales domésticas como complemento para el laboratorio de calidad de aguas, en donde se busca que los estudiantes aprendan la importancia de este sistema de

descontaminación del agua y los futuros ingenieros civiles de la UPC-SAM observen los beneficios de las PTAR y los implementen en los futuros proyectos de construcción que ejecuten.

2.4 Formulación del problema

Con la implementación de un instrumento a nivel pedagógico de una PTAR, los futuros ingenieros civiles de la UPC-SAM ¿Cómo demostrar y analizar el sistema y funcionamiento de una PTAR domesticas en las prácticas de laboratorio?

5. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales y su tratamiento son un tema de gran importancia para el planeta, ya que hoy en día contamos con el *0.007%* de agua potable (FUNDACION AQUAE, 2016), donde una cantidad considerable de agua se encuentra contaminada por manejos inadecuados, por eso se requiere cuidarla e insistir en aplicar un correcto tratamiento.

En las instituciones universitarias se habla acerca de las aguas residuales y el impacto que tienen al medio ambiente, pero muy pocas veces se habla acerca de las clases de aguas residuales y más que todo de las aguas residuales domésticas las cuales deberían ser tratadas antes de ingresar a los sistemas de alcantarillado o directamente a los afluentes, ya que estas no conllevan un proceso profundo a diferencia de las aguas industriales las cuales varían según el tipo de industria lo cual significa que dependiendo de qué actividad realicen el tratamiento del agua y los componentes químicos variaran en su totalidad, mientras que en las zonas urbanas el agua siempre va a llevar en ella los mismos tipos de contaminantes como material particulado, químicos de elementos de aseo y grasas, por tal motivo es más fácil diseñar proyectos urbanos donde se trate previamente el agua residual domestica antes de dirigirla a los respectivas redes o afluentes.

Las aguas residuales de tipo domesticas es el producto de la utilización del agua en las diversas actividades del hogar, las cuales ocasionan contaminación en el agua.

Se pueden encontrar diferentes tipos de contaminantes como se muestra en la figura 5 tales como sólidos, desechos orgánicos detergentes, jabones y grasas.

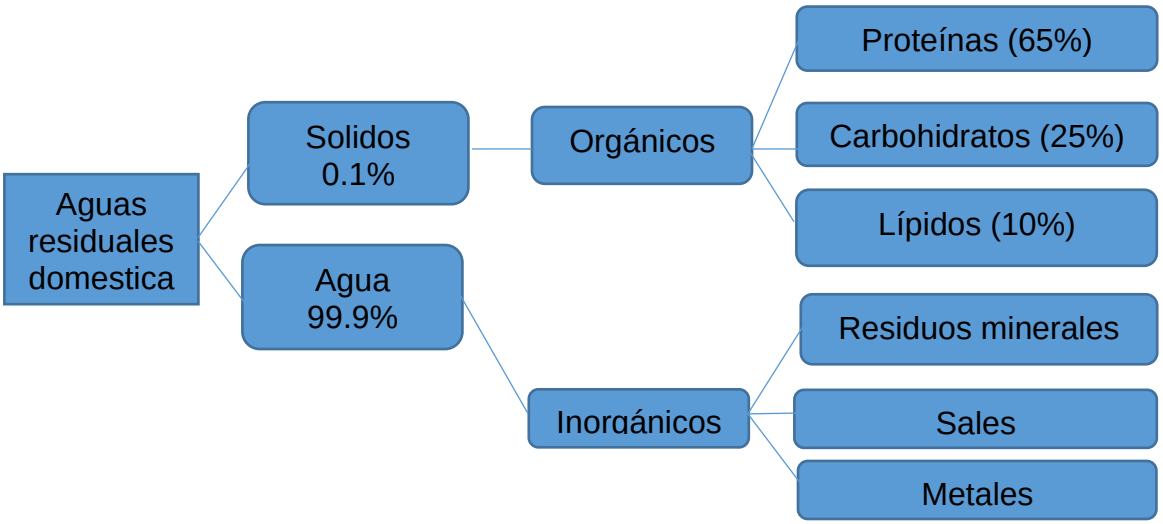

FIGURA 5. Composición en porcentajes del agua residual doméstica, información recuperada de (RUIZ CUELLO, PESCADOR PIEDRA, RAYMUNDO NUÑEZ, & PINEDA CAMACHO, s.f.)

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se decide diseñar y construir un prototipo a escala funcional de una PTAR que profundizan los conocimientos de los diferentes procesos en el tratamiento de aguas en los futuros estudiantes de ingeniería civil, promoviendo buen manejo de las aguas residuales para así, mitigar el impacto ambiental que se presenta actualmente al depositar aguas residuales sin tratar a las fuentes hídricas, a continuación en la figura 6 se presenta un ejemplo tomado como idea principal para el diseño del circuito de tratamiento.

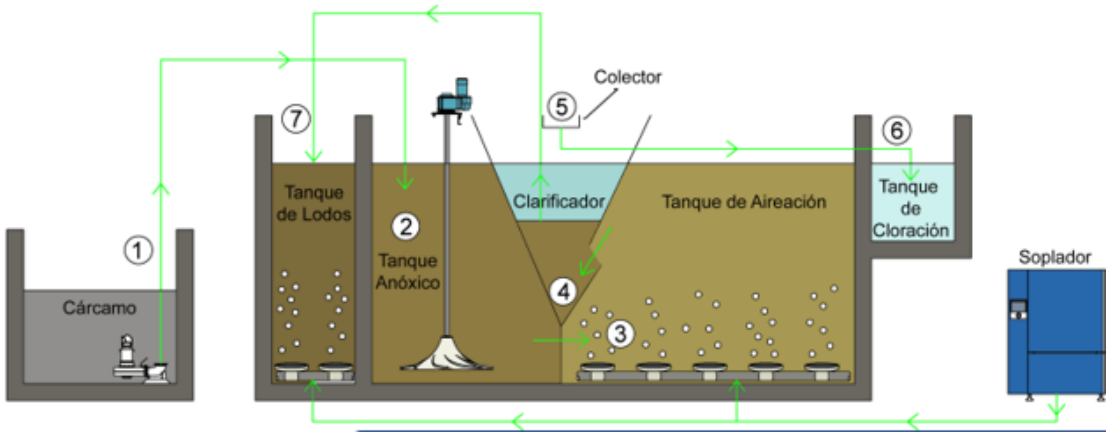

FIGURA 6. PTAR con lodos activados, imagen tomada de (HELIAR WATER TREATMENT, s.f.)

Con este trabajo se busca ampliar los conocimientos de los estudiantes de ingeniería civil de la universidad piloto de Colombia por medio de la implementación de un laboratorio, en donde se estudiará los diferentes procesos que se llevan a cabo para el tratamiento del agua residual de tipo doméstica.

Finalmente, como ingenieros civiles se observa la necesidad de aprender a diseñar y modelar sistemas de tratamiento para mejorar la calidad del agua y la vida de esta, ya que no muchos ingenieros analizan la importancia de diseñar un proyecto en donde el agua residual se pueda re utilizar o de igual manera tratar antes de dirigirla al cuerpo de agua e igualmente no en muchas materias de la línea de aguas hablan acerca de las PTAR.

6. ANTECEDENTES

En la biblioteca “Guillermo Bermúdez” de la UPC-SAM, se realizó una consulta en donde no se evidencia artículos de investigación o documentos de trabajo de grado relacionados con el diseño o montaje de una PTAR domesticas a escala como prototipo funcional de laboratorio, sin embargo, se tomó algunos datos de los libros de calidad de aguas con los cuales está dotada esta biblioteca como “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño” (ROJAS, 2002).

En la biblioteca “Alfonso Palacio Rudas” ubicada en la sede principal de la UPC en la ciudad de Bogotá, se realizó la misma consulta de proyectos de grado de los cuales se obtuviera la información indicada de PTAR en donde se encontraron trabajos como “Alternativas de tratamiento anaerobio para la depuración de aguas residuales de Cundinamarca basado en la experiencia del municipio de Tenjo [Cundinamarca]” (MOLINA GUTIERREZ & ROJAS MONTAÑA, 2007), “Diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tocancipa” (PUENTES FONSECA & JIMENEZ OCAMPO, 2009) y “Planta para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos” (SARMIENTO LOPEZ, 2003).

Igualmente, con la ayuda de buscadores web se revisaron proyectos no solo colombianos sino del exterior acerca de prototipos a escala de PTAR, o proyectos implementados para laboratorios estudiantiles, pero no fue posible encontrar proyectos para este uso, igualmente se logra encontrar proyectos de PTAR los cuales son implementados para municipios, urbanizaciones y fabricas como el

proyecto “Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojaca-Cundinamarca” (GONZALEZ SILVA & GOMEZ ORTEGA, 2016)

Se realizaron estas búsquedas para tener una guía para la ejecución del proyecto que se llevó a cabo, ya que así se puede facilitar búsqueda de información como formulación o complementos para el proyecto, también para aclarar dudas acerca de temas que no se tuviesen claros o se encontraran incompletos en libros o internet.

Finalmente, la información útil que se encontró en la web se tomó como guía y referencias para la complementación de la información con la que cuenta el proyecto.

7. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general.

Desarrollar el diseño y montaje a escala de una planta de tratamiento de aguas residuales “PTAR”, como modelo funcional para el desarrollo de las prácticas de laboratorio de calidad de aguas del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia - SAM

5.2 Objetivos específicos.

- Identificar los fundamentos teóricos, técnicos y legales para el diseño de las PTAR domésticas.
- Investigar acerca de materiales que se puedan ser útiles de acuerdo a sus características para el diseño del modelo funcional a escala PTAR domésticas.
- Realizar un estudio inicial acerca de la calidad del agua a tratar antes de usar la PTAR para así conocer el estado del agua y que componentes químicos como pH y turbiedad posee en el momento.
- Elaborar el diseño, montaje y construcción para el modelo funcional a escala PTAR domésticas.
- Desarrollar un ensayo en el modelo funcional a escala PTAR domésticas, para analizar los resultados físico-químicos que se obtengan en el agua que sea tratada.

- Elaborar una guía de laboratorio indicando el marco teórico, objetivos y el procedimiento para el uso adecuado y obtención de datos en el modelo funcional a escala PTAR domésticas.

8. METODOLOGÍA

Después del uso del agua potable, las PTAR, son sistemas de purificación del agua, con el fin de disminuir los agentes contaminantes de agua residual, donde se busca reducir la mayor cantidad de impurezas generadas por materias fecales, productos de limpieza entre otros.

Por medio de fórmulas ya establecidas se busca diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales o “PTAR” en la cual, al introducirle aguas residuales esta realice el debido tratamiento del agua en donde reduzca impurezas, lodos y mejore el pH, para que así se minimice el impacto al regresar esta agua al punto de captación del afluente.

Para poder cumplir con la ejecución de cada uno de los objetivos:

1. Se realizó una investigación previa de modo virtual e igualmente en las bibliotecas “Guillermo Bermúdez” de la UPC-SAM y “Alfonso Palacio Rudas” ubicada en la sede principal de la UPC en la ciudad de Bogotá, para consultar la teoría y principios que se deben tener en cuenta para el diseño y montaje de una PTAR domésticas
2. Identificación de le leyes con las cuales se rigen el manejo de aguas residuales domésticas y donde nos establecen los parámetros de revisión como lo es el RAS – 2000 y la resolución 0330 del 2.017

3. Para la elección del material de construcción se pensó en un elemento que sea transparente y resistente como la fibra de vidrio y el acrílico, además de económico, también se tuvo en cuenta que este material debe ser maleable y que al tener contacto con el agua residual que se esté tratando en el momento no genere efectos negativos en el tratamiento.
4. Para realizar los estudios se utilizarán cintas de pH para como su nombre lo dice medir el pH del agua residual inicial y final, y para analizar la turbiedad del agua se utilizará un turbidímetro si la UPC-SAM cuenta con este equipo de lo contrario se construirá uno para realizar una inspección visual.
5. Luego de analizar las respectivas fórmulas para cada una de las secciones de la PTAR domésticas, seleccionar el material con el que se construirá el prototipo funcional y realizar los cálculos se procederá a construir probar el prototipo.
6. Finalmente, luego de elaborada y construida la PTAR domésticas, se procederá a ejecutar un ensayo de esta en donde se tomen datos iniciales y finales en donde se comparará la efectividad de esta para llegar a la conclusión final.

Se espera que, durante el proceso de tratamiento, se puedan tomar datos en distintos puntos, en donde estos generen resultados óptimos del tratamiento del agua, se observe como esta pierda turbiedad, elimine solidos de gran tamaño y remueva arenas que presente el agua a tratar.

La metodología propuesta es experimental ya que consiste en tomar una variable y modificarla deliberadamente, esta variable es el caudal de diseño ya que se tomó un valor de 0,5 L/s con el cual se inició a calcular el sistema de tratamiento; Esta metodología es enfocada en el método cuantitativo que se basa en recolectar datos y analizarlos para así poder probar las variables obtenidas experimentalmente las cuales nacen de un dato inicial el cual varia, con esto posteriormente los datos recopilados serán analizados y descritos para así darle un control a las respectivas variables del caudal obtenidas y poder controlar cada componente de la PTAR con un caudal ideal que se utilizara para diseñar una planta que cumpla con las expectativas planteadas.

Finalmente, la metodología experimental también se enfoca en el método cualitativo, que consta en describir los datos obtenidos por las diferentes variaciones que tiene el proyecto al buscar el caudal ideal de diseño y así tomar las hipótesis o variables de caudal para explicar, analizar y comprender los datos que se obtienen en la variación del caudal de diseño para llegar a la respuesta del porque dejar un caudal estable para cada componente del proyecto PTAR domésticas.

9. RECURSOS

7.1 Talento humano.

Este proyecto se llevó a cabo entre los autores del texto y con la ayuda de un asesor interno el Ing. Jesús Flaminio Ospitia Prada que fue asignado por la Universidad Piloto de Colombia e igualmente se buscó un asesor externo experto en el tema de manejo y diseño de aguas residuales el Ing. Abbad Jack Jimminick Murillo.

7.2 Recursos materiales.

Luego de analizar el diseño final del proyecto se optó por acrílico ya que gracias a su transparencia los estudiantes y docentes que utilicen este proyecto podrán observar en cada una de sus fases el tratamiento que está teniendo el agua residual doméstica, fue necesario ubicar un tanque inicial donde se almacenara toda el agua residual a tratar y un tanque final donde llegara el agua residual tratada, igualmente fue necesario el uso de materiales solidos como arenas, gravas, papeles y hojas, así como elementos líquidos como grasas y sustancias químicas, para crear aguas residuales las cuales se utilizaron para el desarrollo de las pruebas del proceso de tratamiento del modelo funcional a escala PTAR domésticas, se utilizaron tubos de PVC para realizar las conexiones entre cada módulo de tratamiento de la PTAR, también fue necesario gravas para el modulo del filtro de flujo ascendente y un generador de aire para el módulo de aireador.

7.3 Recursos institucionales.

Se utilizaron libros de tratamiento de aguas residuales y tesis de grado de la biblioteca “Guillermo Bermúdez” de la UPC-SAM y “Alfonso Palacio Rudas” ubicada en la sede principal de la UPC en la ciudad de Bogotá, además de un espacio en el laboratorio de calidad de aguas en la UPC-SAM, para ubicar el diseño final funcional de la PTAR domésticas.

10. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR

La resolución 0330 capitulo 5 “Sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales”, tiene como objetivo dar las condiciones y criterios que debe tener los respectivos procesos de tratamiento del agua residual a la hora de construir un sistema operativo para tratarla y también para realizar el mantenimiento de estos sistemas, la forma de operarlos y como realizar la respectiva revisión.

Para diseñar un mecanismo para tratar las aguas residuales, en la sección E3.2.1.2 del RAS 2000 título E, se da los requerimientos que se mencionan a continuación para poder diseñar:

- Cantidad y calidad del agua residual
- Tipo de suelo y permeabilidad
- Temperatura
- Uso de la tierra
- Zonificación
- Prácticas agrícolas
- Requerimientos de calidad para descargas superficiales y sub superficiales
- Nivel freático
- Información de los cuerpos de agua de la zona.

En la resolución 0330 del 2017 en el capítulo 5 sección 1 Articulo 166, podemos encontrar el caudal de diseño, su significado y para qué es usado según el tipo de caudal que estemos midiendo ya sea el caudal medio de diseño, caudal máximo horario, caudal máximo diario o caudal máximo mensual, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1

Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales

Caudal	**Descripción**	**Aplicación**
Caudal medio de diseño.	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR.	- Caudal medio de referencia - Caudal de diseño de unidad 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 procesos
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.	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados	- Dimensionamiento de biorreactores - Dimensionamiento del almacenamiento de químicos

Tomado de Tabla 22 (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017)

Se eligieron las aguas residuales domesticas para trabajar en el modelo de PTAR, ya que sus componentes no tienen gran variación, como se menciona anteriormente

los componentes que se encuentran son los generados por actividades diarias del hogar.

Se caracterizan por tener partículas de heces y orina generadas por el cuerpo humano, elementos químicos de los productos de aseo personal como jabones, y cremas dentales, grasas que pueden provenir del mismo cuerpo humano al asear platos y ollas, al lavar prendas de ropa que hayan tenido contacto con aceites y grasas y elementos químicos que provienen de elementos para el aseo del hogar como jabones, productos líquidos para el aroma, entre otros y materiales pesados como arenas y limos que pueden ser transportados con las prendas y/o el mismo cuerpo humano.

A continuación, se encuentra una explicación de las estaciones que más se frecuentan para el diseño y construcción de las PTAR, y la importancia de cada una de estas.

8.1 Ultimo pozo

Esta es la entrada principal al sistema, su función es captar una parte del agua que viene del afluente si se capta directamente de este o ser el punto inicial de captación si el agua residual viene directamente de la red sanitaria y así poder iniciar con el transporte al sistema de tratamiento.

8.2 Canal de aproximación

Este canal cumple la función de prevenir que las arenas y otros materiales pesados que contenga el agua se acumulen y afecten el tratamiento del agua en las

siguientes fases de la PTAR, igualmente posterior a este canal se pueden encontrar las rejillas que igualmente cumple la función de detener materiales particulado que afecten el tratamiento del agua y generan impurezas en esta. El RAS 2000, aconseja que este canal tenga una dirección perpendicular a las barras que se encuentren en las rejillas de tamizado.

8.3 Rejilla de tamizado grueso

Son las encargadas de retener partículas de gran tamaño y partículas en suspensión las cuales son arrastradas por las aguas durante su recorrido hasta las PTAR, estas se ubican después de del ultimo pozo generalmente. El RAS 2000 al igual que la resolución 0330 del 2017, establecen unos parámetros mínimos para diseñar y construir estas rejillas e igualmente no obliga al diseñador a elegir un tipo de rejilla, la única condición es que al diseñarla cumpla estos parámetros. Lo ideal es que estas rejillas sean ubicadas en el canal de aproximación, ya que así se facilita la limpieza de estas, y también se evita la obstrucción de los equipos de tratamiento que estén delante de ellos y puedan obstruirse por material particulado de gran tamaño. La resolución 0330 del 2017 en el artículo 186, clasifica las rejillas de la siguiente manera:

- Gruesas: con barras separadas de 4 a 10 cm
- Medias: entre2 y menores de 4 cm
- Finas: entre 1 y menores de 2 cm

La velocidad ideal de aproximación para que se realice una limpieza adecuada del agua residual e igualmente para que la acumulación de solidos sea la debía debe ser de 0.3 m/s para un caudal mínimo (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017, pág. No. 117). También se debe tener en cuenta la velocidad del agua al pasar por las rejillas las cuales son de 0.3 a 0.6 m/s para las rejillas que se limpian manualmente y 0.6 a 1.2 m/s para las rejillas que se limpian mecánicamente.

El agua luego de pasar por las rejillas perderá carga, para poder hallar esta pérdida podemos usar la fórmula del RAS 2000 Titulo E.4.4.2.6 la cual se muestra a continuación:

$$K = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{1,33} * \sin\alpha$$

Donde:

K= Perdida de carga.

β =Coeficiente de pérdidas para las rejillas según la forma de la barra.

S= Diámetro de la barra usada en la rejilla.

b= Separación mínima entre barras

Tabla 2

Coeficiente de perdida par rejillas

Sección transversal							
Forma	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Tomado de Tabla E.4.6 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E. 51)

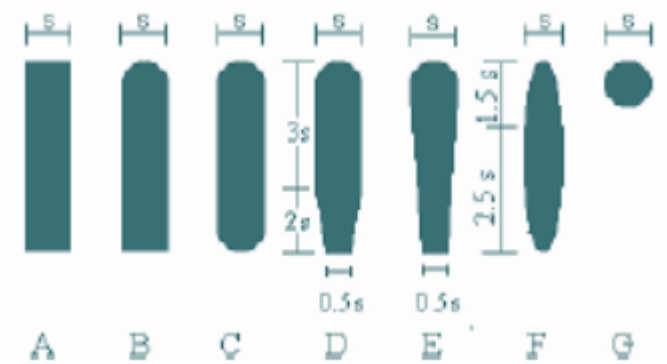

FIGURA 7. Diferentes formas de rejilla, información recuperada de la Figura E.4.1 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E. 51)

8.4 Desarenador

Uno de los elementos más importantes de las plantas de tratamiento, ya que aquí es donde la mayoría de partículas se separan del agua residual; esto es posible gracias a la estructura de los desarenadores, su función principal es retener todas las arenas que traen las aguas y así evitar que estas ingresen a las siguientes estaciones del sistema y al igual que las rejillas evitan que se generen problemas

por acumulación de material particulado. Se puede decir que el desarenador es un tanque sedimentador, las dimensiones de este dependen del caudal con el que se diseñe, en la parte inferior se acumulan los sedimentos más pesados para que así por la parte superior el agua pase por “rebose” a otra área donde continua el proceso de transporte.

Para que este funcione en óptimas condiciones se aconseja siempre tener un flujo constante de agua, además se debe realizar una limpieza constante de este para así evitar acumulación en exceso de los sólidos. Los sólidos son separados gracias a la gravedad, ya que las partículas al ser más pesadas que el agua caen al fondo del desarenador.

Los desarenadores se pueden diseñar en 3 tipos:

8.4.1 Desarenadores de flujo horizontal.

Los desarenadores de flujo horizontal cumplen la función de distribuir uniformemente los caudales por la sección transversal del tanque por el que está compuesto, como se puede observar en la figura 8 con la ayuda de compuertas o pantallas en donde el agua fluye hasta rebosar por un vertedero de descarga libre.

FIGURA 2. Pantallas para desarenador de flujo horizontal, tomado de (ALVARADO GRANADOS & RAMOS VILLANUEVA, 2010)

Gracias a su diseño horizontal, los sólidos que se van sedimentando son transportados por medio de barredores mecánicos hasta un pozo junto al tanque principal, para posteriormente estos sólidos ser extraídos del tanque con la ayuda de mecanismos inclinados como rastrillos reciprocantes, tornillos sin fin o de igual manera ser extraídos por medio de un efecto de ciclón desarenador como se muestra en la figura 9 donde se separa el material orgánico presente y al mismo tiempo concentra las arenas, finalmente el material orgánico es retornado a tratamiento mientras las arenas se concentran para posteriormente someterlas a una etapa de lavado.

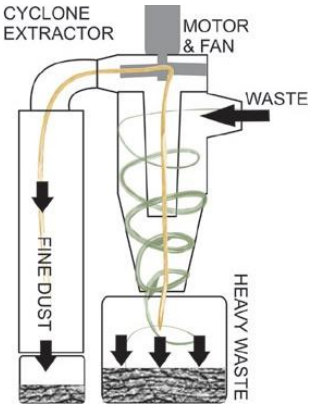

FIGURA 3. Ciclón desarenador, información tomada de (MAQUINARIA PARA CIMENTACIONES ESPECIALES, 2012)

Los desarenadores de flujo horizontal se dividen en 2 tipos:

8.4.1.1 Desarenadores de flujo horizontal rectangulares

En este tipo de desarenador, el agua que se tratara pasa a través de una cámara en dirección horizontal como se puede apreciar en la figura 10 y por medio de las dimensiones de diseño que se otorguen al canal la velocidad lineal que obtenga el flujo es controlada; además, se ubican compuertas especiales en la entrada del desarenador las cuales permiten distribuir mejor el flujo por medio de este o de lo contrario también se utilizan vertederos de salida con secciones especiales para así mismo distribuir el flujo del agua.

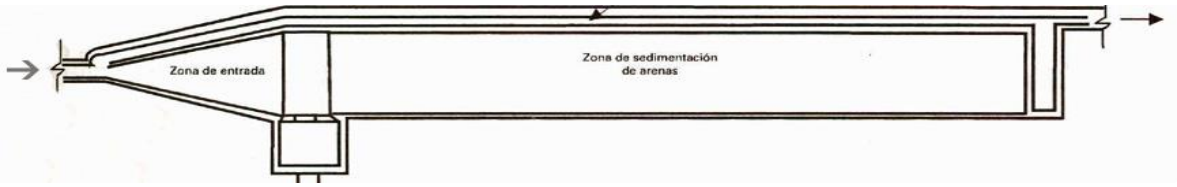

FIGURA 40. Desarenador de flujo horizontal, imagen recuperada de (FORERO DE SAADE & GAITAN GONZALEZ , 1998)

8.4.1.2 Desarenadores de flujo horizontal cuadrados

Estos desarenadores son diseñados basándose en la carga superficial del fluido, la cual depende del tamaño de las partículas que transporte y la temperatura del agua residual.

8.4.2 Desarenadores aireados

El propósito de este tipo de desarenador es remover partículas de 0.21 mm o superiores, su sección transversal se diseña con el fin de crear un flujo en espiral y para una eficiente remoción de arenas se ubican deflectores a la entrada y salida del sistema con el fin de tener un caudal controlado.

Estos evitan la sedimentación de materias orgánicas, su costo de mantenimiento es bajo y sirve en cualquier tipo de PTAR, pero su costo de operación es elevado ya que debe de tener una bomba la cual inyecte aire al sistema para así poder sedimentar las arenas.

Como se menciona anteriormente a este sistema se le inyecta aire generando así un remolino con dirección al flujo como se aprecia en la figura 11, y ya que las arenas son más pesadas que el fluido es sedimentado en el fondo y la materia orgánica al ser liviana emerge a la superficie donde posteriormente es extraída.

FIGURA 51. Desarenadores aireados, imagen recuperada de (ALVARADO GRANADOS & RAMOS VILLANUEVA, 2010)

8.4.3 Desarenadores de tipo vórtice

Los desarenadores de vórtice se enfocan en formar un vórtice con la ayuda de un medio mecánico, capturando así todos los sólidos en la parte inferior por medio de una recamara en forma de tolva, estas pueden tener un fondo plano con una pequeña abertura en donde se van atrapando las arenas o un fondo inclinado con una abertura grande que llega directamente a la tolva, conforme los sólidos son dirigidos por el vórtice a la recamara, unas astas van aumentando la velocidad para así levantar el material orgánico más liviano para hacer la respectiva limpieza de este.

Como se observa en la figura 12, estos desarenadores tienen un tanque cilíndrico en donde ingresa el agua a tratar, inicialmente con la entrada del flujo se genera un vórtice libre con el cual inicia el tratamiento y posteriormente se activan las astas que aumentan la velocidad del vórtice.

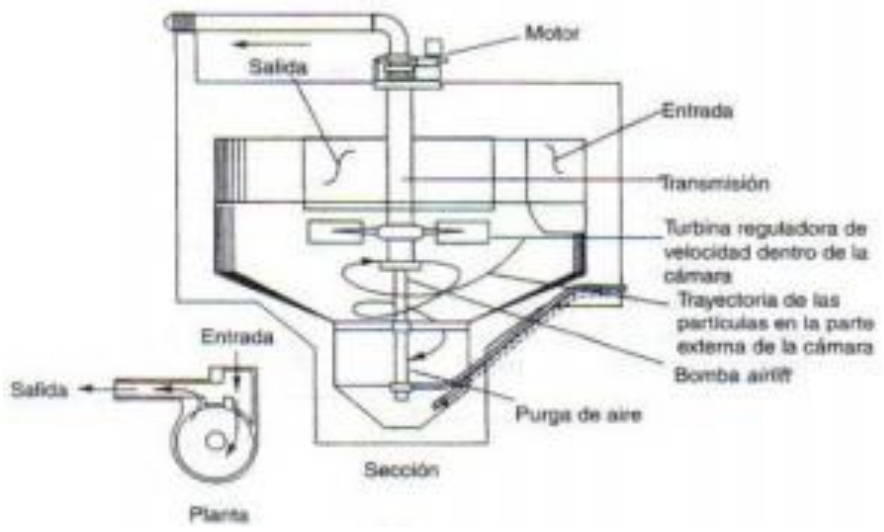

FIGURA 6. Desarenadores de tipo vórtice, información recuperada de (ALVARADO GRANADOS & RAMOS VILLANUEVA, 2010)

Hay que tener en cuenta que la velocidad mínima de diseño para los desarenadores, debe ser una donde el flujo del agua pueda ser controlado. La velocidad mínima de decantación debe ser de 0.03 m/s y se debe buscar una velocidad constante de flujo horizontal de 0.3 m/s, también se recomienda que la salida del veredero sea prefabricada para garantizar precisión de diseño (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017, pág. No. 117).

En la tabla 3 se puede observar las recomendaciones mínimas para la geometría diseño en cualquier tipo de desarenador.

Tabla 3

Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo.

Parámetro	**Desarenador de flujo horizontal**	**Desarenador aireado**	**Desarenador tipo vórtice**
Profundidad (m)	2 - 5	2 - 5	2.5 – 5
Longitud (m)	----	8 – 20	----
Ancho (m)	----	2.5 – 7	----
Relación Largo : Ancho	2.5 : 1 – 5 : 1	3 : 1 – 5 : 1	----
Relación Ancho : Profundidad	1 : 1 – 5 :1	1 : 1 – 5 : 1	----
Diámetro			
Cámara superior	----	----	1 – 7
Cámara inferior			1 - 2

Tomado de Tabla E.4.7 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E. 57)

En la resolución 0330 del 2017 artículo 188, podemos encontrar la cantidad mínima de desarenadores que debe existir en un sistema de tratamiento, este recomienda que sea mínimo 2 para poder realizar la debida limpieza de estos, además los 2 deben tener la capacidad de operar con el caudal de diseño si uno de estos está en mantenimiento.

La cantidad de acumulación de solidos variara según las características del agua residual que entre al sistema, ya que como se explicó anteriormente no solo existen las aguas residuales domésticas.

8.5 Tanque de igualación

La función principal es igualar nuevamente los caudales de flujo, para así controlarlos, estabilizar nuevamente los flujos de pH del agua y así finalmente generar un flujo continuo del agua a los sistemas de tratamiento, es decir, un caudal estable para el sistema.

8.6 Trampa de grasas

Las aguas domesticas tienen de 30 a 50 mg/l de grasas, esto significa el 20% del DBO (ROJAS, 2002); su función principal es separar las grasas del agua ya que al ser un material más liviano estos tienen a flotar, para que así finalmente por medio de una descarga inferior el agua salga sin partículas de grasa.

Pueden diseñarse trampas de grasas para uso domiciliar, colectivo y sedimentadores, dependiendo del material flotante que se vaya a remover.

- **Domiciliares:** se ubican principalmente en los domicilios y reciben los residuos generados por las cocinas de los hogares.
- **Colectivos:** su función es recolectar todos los residuos de conjuntos residenciales e industrias por su gran tamaño.
- **Sedimentadores:** estas trampas se adaptan directamente a los sedimentadores con el fin de poder recoger fácilmente el material flotante para así posteriormente realizar el respectivo tratado de este.

Para poder diseñarse se debe tener en cuenta las propiedades el agua residual que transite por el sistema, además se debe tener en cuenta el caudal que lleve el sistema en este punto y la capacidad de almacenamiento de la trampa de grasas.

Para diseñar las trampas de grasas, el tiempo mínimo de retención es de 2.5 minutos, la relación largo-ancho del área superficial debe ser entre 1:1 a 3:1 según su geometría y la profundidad inicial útil mínima es de 0.35m (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017, pág. No. 108). A continuación, se presenta la tabla 4 en done basándose en el elemento de donde provengan las grasas se tendrá un caudal mínimo de diseño y en base a ese caudal que tantas grasas retendrá en peso, además del tamaño en litros que debería tener máximo para una buena retención; posteriormente encontramos la tabla 5 en donde se observa los tiempos de retención de las rejillas según el caudal que maneje la trampa.

Tabla 4

Capacidades de retención de grasas.

Tipo de afluente	**Caudal (L/min)**	**Capacidad de retención de grasa (kg)**	**Capacidad máxima recomendad (L)**
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitación sencilla	72	18	190
Habitación doble	92	23	240
Dos habitaciones encillas	92	23	330
Dos habitaciones dobles	128	32	
Lavaplatos para restaurantes			
Volumen de agua mayor a 115 litros	56	14	115
Volumen de agua mayor a 190 litros	92	23	240
Volumen de agua entre 190 y 378 litros	144	36	378

Tomado de Tabla E.3.1 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E.29)

Tabla 5

Tiempos de retencion hiraulicos.

Tiempo de retencion (minutos)	**Caudal de entrada (L/s)**
3	2 – 9
4	10 – 19
5	20 o más

Tomado de (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E.29)

8.7 Clarificador en forma de cono

Estos pueden ser rectangulares o circulados, cumplen la función de remover los sólidos que sean sedimentables en el agua residual, el diámetro del cuerpo depende del caudal.

8.7.1 Clarificadores circulares

Es alimentado desde un punto central en donde el agua sale por la parte baja de la zona de alimentación, para que así el sistema tenga tiempo suficiente para que los sólidos se puedan asentar y así mismo el agua clarificada suba hasta una pared de desborde en donde sale a una pequeña canal que rodea la estructura principal.

8.7.2 Clarificadores rectangulares

Son los más empleados en las plantas de tratamiento, consiste en una cinta transportadora que va rastrillando los sedimentos para separarlos del agua, para así separar por medio del arrastre los sólidos del agua.

8.8 Aireador

El agua, necesita oxígeno para poder estabilizar el contenido de carbono y nitrógeno generado por los materiales que recibe durante su uso en los domicilios, hogares o que han entrado al sistema por medio de las aguas lluvia; así como lo dice su fórmula química (H2O), el agua necesita el oxígeno para poder mantener vida dentro de ella, por eso el proceso de aireación consiste en darle oxígeno al agua para poder regenerar la mayor cantidad de oxigeno que ha perdido al recibir contaminantes durante todo su proceso de recepción de elementos químicos como

jabones, aceites, arenas entre otros. Los microorganismos del agua son los encargados de descomponer los contaminantes del agua, permitiendo así que la vida pueda sostenerse en estos ecosistemas; en las aguas marinas, gracias a la combinación de oleajes, vientos y lluvias, este ecosistema está constantemente aireado, mientras que en las lagunas naturales y artificiales es más difícil que se genere oxigeno por su poco movimiento, en estos casos gracias a la ayuda de microorganismos se genera un poco de oxígeno e igualmente ayudan con la descomposición de elementos dañinos para el ecosistema, aunque a veces no es suficiente y las aguas logran descomponerse, finalmente en los cauces de los ríos, gracias al movimiento que tienen y a la cantidad de altibajos que encuentra en su trayecto se genera oxigeno aunque en ríos que reciben contaminación constante como el rio Bogotá, es difícil recuperar la demanda biológica y química de oxigeno; por tal motivo es necesario el tratamiento de las aguas para seguir evitando el deterioro de los ecosistemas marítimos y la flora y fauna que rodea los afluentes.

En las plantas de tratamiento, por medio de equipo de bombeo o turbinas se incorpora aire al agua, con el fin de purificar y oxigenar el agua mediante el contacto del agua con el aire, reduciendo así el contenido de dióxido de carbono y también removiendo compuestos de metano y sulfuros.

A continuación, se presenta la tabla 6, en donde nos da los parámetros mínimos requeridos por el RAS 2000 título E.4.6.2.3.7 para diseñar tanques de aireación empíricamente de no seguir estos parámetros se debe demostrar que el agua que se tratará cumplirá con los rendimientos de diseño.

Tabla 6

Parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados.

Tipo de proceso	Carga orgánica $KgDBO_5/Kg$ SVLM/d (f/m)	Carga volumétrica $KgDBO_5/m^3/d$ (fq/V)	Tiempo de detención (horas) (t_d)	Edad de lodos (días) (θ_0)	SSLM mg/L (x_t)	Retorno Fracción (r)
Convencional	0.2 – 0.5	0.3 – 1.0	4 -8	5 - 15	1500 - 3000	0.25 – 0.5
Completamente mezclado	0.2 – 0.6	0.8 – 2.0	4 -8	5 -15	3000 - 3600	0.25 – 2.0
Aireación escalonada	0.2 – 0.5	0.6 – 1.0	3 – 5	5 -15	2000 – 3500	0.25 – 0.7
Alta tasa	0.4 – 1.5	0.6 – 2.4	0.25 - 3	1 - 3	4000 - 5000	1.0 – 5.0
Aireación modificada	1.5 – 5.0	1.2 – 2.4	1.5 – 3	0.2 – 0.5	200 – 1000	0.05 – 0.25
Estabilización por contacto						
Contacto	0.2 – 0.5	1.0 – 1.2	0.5 – 1.0	5 -15	1000 – 3000	0.2 – 1.0
Estabilizado		Incluido ya	3 - 6	-	4000 - 10000	-
Aireación extendida	0.05 – 0.25	<0.4	18 – 36	15 – 30	3000 – 6000	0.75 – 1.5
Oxígeno puro	0.4 – 1.0	2.4 – 4.0	1 – 3	8 – 20	6000 – 8000	0.25 – 1.5
Zanjón de oxidación	0.05 – 0.30	0.1 – 0.5	8 – 36	10 – 30	3000 – 6000	0.75 – 1.5
Reactor SBR	0.05 – 0.30	0.1 – 0.2	12 – 50	No aplica	1500 - 5000	No aplica

Tomado de Tabla E.4.11 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E.62)

Para entender la tabla 6, los datos de diseño del aireador dependerán de la forma en la que nosotros diseñemos el proceso de aireación, con base a esto tomaremos los parámetros para diseñar según la carga orgánica, el volumen de esta carga, el tiempo que tomará en detener la carga orgánica, el tiempo que tomará en secar los lodos, cuál será la concentración que tendrá de solidos suspendidos y finalmente el tiempo en el que retorna el agua al sistema.

La demanda biológica de oxígeno “DBO” que es la cantidad de oxigeno que se requiere para estabilizar la materia orgánica, se divide en 3 partes:

8.3.1 DBO carbonácea

Uno de los análisis en los que se divide la DBO, donde se toman las bacterias del agua residual y se inhiben las bacterias provenientes de los nitrógenos y por medio de agentes como el azul de metileno o tratamientos como la pasteurización, cloración o acidificación degrada los compuestos orgánicos de carbono.

8.3.2 DBO nitrogenada

Consiste en analizar la cantidad de oxigeno necesaria para que los microorganismos que contenga el agua residual puedan oxidar el amoniaco que está presente en la materia orgánica como nitratos convirtiéndolos así en nitritos.

8.3.3 DBO inorgánica

Es el análisis realizado para conocerla cantidad de materia que no está compuesta por carbonos, por tal motivo esta no es generada por residuos humanos sino por residuos naturales, puede provenir de aguas minerales, sales y dióxido de carbono; al no tener carbonos esta tiene una descomposición natural lenta y también se compone por objetos no biodegradables

A continuación, se muestra la tabla 7 donde se puede observar los tipos de aireadores que recomienda el RAS 2000 en el título E.4.6.2.8.1 y las características recomendadas de diseño para algunos de estos aireadores:

Tabla 7

Tipos de aireadores.

Difusores porosos	**Características típicas recomendadas**
Difusores de placa	Cuadrados. Lado = 30 cm, espesor 2.5 a 3.8 cm
Difusores con forma de domo	Diámetro = 18 cm, altura = 3.8 cm, espesor del medio = 15 mm (bordes) y 19 mm (parte superior)
Difusores con forma de disco	Diámetro = 18 – 24 cm, espesor = 13 a 19 mm
Difusores de tubo	Longitud del medio poroso = 50 a 60 cm, diámetro externo = 6.4 a 7.6 cm
Difusores no porosos	
Tuberías perforadas	
Burbujeadores	Diámetro del orificio = 0.3 a 0.8 cm
Difusores con válvula en el orificio	
Aireadores de tubo estático	
Mangueras perforadas	
Aireación por chorro	
Mecanismos aspiradores	
Aireación con tubo U	

Tomado de Tabla E.4.12 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E.63)

Si se quiere diseñar empíricamente un aireador debemos tomar las fórmulas que se presentan a continuación las cuales fueron tomadas del RAS 2000 título E.7.3.2.1.1

- Carga orgánica volumétrica.

$$L_V = S_0 \frac{Q}{V}$$

Donde:

L_v= carga orgánica volumétrica dada en kg DBO_5/m^3/día

S_0= concentración de DBO_5 o DQO influente en g/m3

Q= tasa de carga hidráulica en m^3/ha*d

V= volumen del primer filtro en m2*m

- Carga orgánica especifica.

$$L_{Ve} = \frac{F}{M}$$

Donde:

L_{ve}= carga orgánica especifica dada en kg DBO_5/kgSSVLM/día

F/M= relación comida-microorganismos gDQO – DBO_5/gSSV/d

- Tiempo de retención hidráulica.

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

Donde:

t_d= tiempo de retención hidráulica

V= volumen del primer filtro en m2*m

Q= tasa de carga hidráulica en m^3/ha*d

- Concentración de sólidos en licor mixto.

Xt= Concentración de solidos suspendidos totales en licor mixto, en mg SSLM/L

- Edad de lodos.

Es el medio promedio para la retención celular, es decir, el tiempo que permanece en el reactor una partícula de lodo ya sea biológica o un microrganismo.

$$\theta_c = \frac{V}{Q_W}$$

Donde:

θ_c= Edad de los lodos

V= volumen del primer filtro en m2*m

Q_w= perdida de calor en W

- Tasa de recirculación de lodos.

Coeficiente para medir el retorno de los lodos al sistema

$$R = \frac{Q_r}{Q_n}$$

Donde:

R= Tasa de recirculación

Q_r= caudal de retorno de lodos del sedimentador secundario m^3/día.

Qn= tasa hidráulica volumétrica m3/m2*día

8.9 Filtro anaeróbico de flujo ascendente.

En el artículo 175 “filtro anaeróbico de flujo ascendente” (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017, pág. 109), nos dice que los filtros anaeróbicos se construyen como una cámara independiente el cual debe llevar un lecho filtrante de grava con un volumen de 0.02 a 0.04 m3 por cada 0.1 m3/día de aguas residuales a tratar.

Estos reactores son un tratamiento en donde el agua ingresa por la parte inferior y fluye hacia la parte superior del módulo de tratamiento, en donde se sugiere que para un adecuado diseño la velocidad ascendente sea entre 0.8 y 1.0 m/h y la profundidad del tanque sea entre 4.5 m y 6m (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017), además en la parte superior se recomienda una estructura de recolección de gases para que estos sean retornados al reactor o igualmente se utilice para la generación de combustibles. A continuación, se presenta la tabla 8 en donde se puede observar las velocidades ideales para el diseño de los reactores.

Tabla 8

Velocidades de flujo ascendente para el diseño de reactores UASB.

Temperatura del agua residual (°C)	**Tiempo de retención hidráulica (horas)***
16 a 19	10 – 14
20 a 26	6 – 9
>26	>6

* Caudal medio diario.

Tomado de Tabla 32. (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017, pág. No. 119)

8.10 Cloración

Uno de los procesos más recurridos para el tratamiento y desinfección del agua, ya que es un tratamiento sencillo para reducir bacterias presentes en esta. Sus funciones principales son:

- Reducir en el mayor porcentaje posible, agentes patógenos que contenga el agua por medio del cloro.
- Tomar sustancias que durante el tratamiento del agua se hallan reducido como el hierro o manganeso y oxidarlos.
- Tomar las sustancias que generen olores y sabores en el agua y acabar con estas.
- Ayudar a la coagulación de químicos en los procesos de interacción de floculador a coagulador.
- Tomar algas y microorganismos que se generen por aguas lluvias las cuales posteriormente se convierten en material suspendido y eliminarlas.

La cloración se utiliza principalmente en las PTAR domésticas, para evitar la afectación de la salud de las personas que se ubiquen después del punto de descarga, solo si el agua residual pueda crear peligros, aunque también es una buena forma de realizar un mejor tratamiento al agua lo cual pueda genera una pureza óptima para evitar el agua a una PTAP y así poder convertirla en consumo humano o en lo posible reducir el impacto ambiental.

A continuación, se presenta la tabla 9 en donde se da unas pautas para la dosis que se debe aplicar para la desinfección de aguas residuales.

Tabla 9

Dosis de cloro para desinfección normal de aguas residuales domésticas.

Tratamiento	Dosis de cloro para diseño, mg/L
Pre cloración	20 – 25
Agua residual no tratada, dependiendo de la edad	6 – 15 fresca 12 – 30 séptica
Efluente primario	8 – 20
Efluente de filtro percolador	3 – 15
Efluente de lodos activados	2 – 8
Efluente de filtros de arena	1 - 6

Tomado de Tabla E.4.38 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO, 2000, pág. E.102)

Un dato importante es que el cloro se puede aplicar antes del tanque de sedimentación secundario y después de este si es necesario realizar un pre-tratamiento de cloración.

Existen algunos métodos de cloración como lo es la cloración simple, súper cloración sistemática, cloración respecto a la demanda de cloro y cloración respecto al momento de tratamiento, las cuales se explican a continuación:

8.10.1 Cloración Simple

Consiste en aplicar el cloro directamente al agua sin la necesidad de que esta tenga un tratamiento posteriormente.

8.10.2 Cloración Respecto al momento del tratamiento

Este método se divide en 3 tipos

8.10.2.1 Cloración previa o pre cloración

Este método en enfoca en adicionar el cloro al agua antes de que ingrese al sistema de filtración, esto con el fin de mejorar la eficiencia de tratamientos como la coagulación y la floculación, además tiene ventajas como:

- Retardar y/o evitar que los lodos de los tanques sedimentadores se descompongan por medio del control y reducción de las concentraciones de algas, microorganismos y materia orgánica que se presenten en el agua.
- Ayuda con la eliminación de olores y sabores al oxidar la materia orgánica que presente el agua.
- Reduce el crecimiento biológico de partículas que ayudan a la formación de limos en los filtros de arena.

8.10.2.2 Cloración Posterior

En este método, el cloro es añadido al agua luego de realizar el proceso de filtración o igualmente en los depósitos donde se almacene el agua luego de este proceso de tratamiento; este tratamiento requiere una menor concentración de cloro, por tal motivo este método se emplea comúnmente en aguas las cuales están poco contaminadas y no requieren de un tratamiento mayor.

8.10.2.3 Re cloración

Este método nos indica que podemos aplicar en cualquier punto del sistema de tratamiento del agua cloro, y su objetivo principal es garantizar que las concentraciones de cloro que requiera el sistema para realizar el tratamiento de cloración sean las adecuadas para reducir y eliminar las posibles contaminaciones que se presenten a futuro en el agua.

Igualmente, esto permite optimizar la calidad del agua ya que reduce microrganismos que estén presentes en cada uno de los procesos de tratamiento.

8.10.3 Cloración Respecto a la demanda de cloro

Este método se divide en 2 tipos:

8.10.3.1 Cloración Limitada

Principalmente consiste en adicionar el cloro necesario para permitir concentraciones de cloro residual entre 0,1 a 0,2 ppm después de 10 minutos de tener contacto con el agua residual. El lado negativo de este método es que el cloro que se aplique puede ser insuficiente para generar la oxidación total de las sustancias que reduzca, esto hace que sea un método no recomendado a menos de que se utilice un tratamiento extra para desinfectar el agua.

8.10.3.2 Tratamiento con cloro y amoníaco

Con la ayuda de amoniaco se busca la generación de cloraminas en el agua residual, ya que es un componente químico que tiene una mayor estabilidad y potencia para la oxidación, pero el lado negativo es que tiene una baja capacidad

de desinfección, la cualidad de las cloraminas es que generan un menor sabor en el agua a diferencia de otros compuestos del cloro.

8.10.4 Súper cloración sistemática

En este método la dosis de cloro que se adiciona es superior a lo requerido por el agua residual, por tal motivo, luego de realizarse la oxidación de la materia residual se debe proceder a neutralizar el exceso de cloro. Este método acelera la desinfección del agua y a su vez es un método eficaz, pero por su alto costo operativo por exceso de cloro se hace un método poco utilizado, además del uso de otros químicos como anhídridos sulfurosos, bisulfitos sódicos y meta bisulfitos para neutralizar el excedente de cloro.

Un dato importante es que el cloro en aguas cristalinas puede eliminar una población de E. coli en pocos minutos, pero en aguas residuales, este proceso es un poco más complejo puesto que el cloro necesita más tiempo para poder reaccionar; alguno de los factores que influyen en la complejidad del tratamiento son:

- ✓ Las aguas residuales domesticas contienen grandes cantidades de materia orgánica las cuales son susceptibles a la oxidación.
- ✓ El cloro no diferencia bacterias y materia orgánica corriente, por lo que reaccionara a los dos elementos, pero si la materia orgánica es abundante este elemento será desperdiciado ya que al reaccionarle hará que Coliformes sobrevivan por la presencia de esta.

- ✓ Los sólidos suspendidos son una barrera ya que los microorganismos se pueden proteger en el interior de estas partículas y el cloro tardara más en penetrar a través de los sólidos.
- ✓ Por medio de la radiación solar algunas partículas se convierten en iones de cloruro por lo que hace que no reaccione en su totalidad, pero si se consuma el cloro.

11. DIMENSIONAMIENTO

El circuito planteado para diseñar el modelo funcional a escala de la planta de tratamiento de aguas residuales consta de las siguientes secciones:

- Trampa de grasas
- Desarenador
- Filtro de flujo ascendente
- Aireador

Para el pre dimensionamiento de la PTAR domésticas, inicialmente se realizó una hoja de Excel con todas las formulas la cual se anexa al documento final, con las que se calculó el modelo a escala con el fin de calcular de manera automática y así encontrar los valores sin tener que calcular de manera repetitiva cada formula hasta encontrar los datos adecuados para construcción, posteriormente se tomó un caudal inicial con el cual se realizaron cálculos en el desarenador que es el inicio de la PTAR domésticas, luego de analizar los resultados se obtuvo que el caudal de diseño final es de 1.5 lt/sg, en base a este caudal se continuo desarrollando cada una de las zonas de tratamiento para así tener un caudal igual durante todo el proceso de tratamiento y finalmente controlar los caudales por medio de registros los cuales se colocaran por cada una de las tuberías que conecte cada sección de la PTAR domésticas, con esto también se evitó el dimensionamiento del tanque de igualación el cual como se menciona previamente cumple la función inicial de controlar el caudal.

A continuación, se muestran las formulas con las que se realizó el pre dimensionamiento y finalmente los diseños y datos obtenidos en cada uno de los módulos para el tratamiento.

11.1 Dimensionamiento de trampa de grasas

11.1.1 Formulas

- ✓ Caudal de diseño

$$Qd = 0{,}25L/s = 0{,}00025m^3/s$$

- ✓ Volumen De La Trampa De Grasas

$$V = Qd * tr$$

Donde,

V: Volumen de la trampa de grasas. (m^3)

tr: Tiempo de retención. (Ver tabla 5. Tiempos de retención hidráulicos)

- ✓ Área superficial.

$$A = \frac{Qd}{Va}$$

Donde,

A: Área superficial (m^2)

Qd: Caudal de diseño (m^3/s)

Va: Velocidad ascendente (Dado por la Norma RAS 200)

- ✓ Largo y Ancho de trampa de grasas

$$A = L * B$$

$$L = 3B$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

Donde,

A: Área superficial (m^2)

B: Ancho trampa de grasas (m)

L: Largo trampa de grasas (m)

- ✓ Profundidad de trampa de grasas

$$H = \frac{V}{A}$$

Donde,

H: Profundidad trampa de grasas (m)

V: Volumen trampa de grasas (m^3)

A: Área trampa de grasas (m^2)

- ✓ Ubicación del Bafle

$$Ub = 0{,}75 * L$$

- ✓ Altura del Bafle

$$Hb = 0{,}90 * H$$

- ✓ Espacio entre Bafle y Fondo

$$Ebf = 0{,}10 * H$$

- ✓ Ubicación de la tubería

$$Utub = 0{,}50 * B$$

- ✓ Altura de la tubería de entrada

$$Hetb = 0{,}35 * H$$

- ✓ Caída de la tubería de entrada e ingreso de la tubería de salida

$$\frac{Hectb}{Hsitb} = 0{,}22 * H$$

11.1.2 Valores obtenidos

Tabla 10

Valores obtenidos para el dimensionamiento de la trampa de grasas.

Cauda de diseño Qd	Qd	0,5	L/s
		0,0005	m3/s
Tiempo de retención Tr ≥ 2,5 min	Tr	2,5	min
Volumen trampa de grasas	V= Qd * Tr	75	L
		0,075	m3
Velocidad ascendente	Va	0,004	m/s
Área superficial trampa de grasas	A	0,125	m2
Largo trampa de grasas	L	0,25	m
Ancho trampa de grasas	B	0,5	m
Altura trampa de grasas	H	0,6	m
Ubicación del Bafle	Ub	0,375	m
Altura del Bafle	Hb	0,54	m
Espacio entre Bafle y Fondo	Ebf	0,06	m
Ubicación de la tubería	Utub	0,125	m
Altura de la tubería de entrada	Hetb	0,21	m
Caída de la tubería de entra ingreso de la tubería de salida	Hectb/Hsitp	0,132	m

Tabla diseñada por los autores.

11.1.3 Diseño final trampa de grasas

FIGURA 13. Trampa de grasas vista frontal, fotografía tomada por los autores.

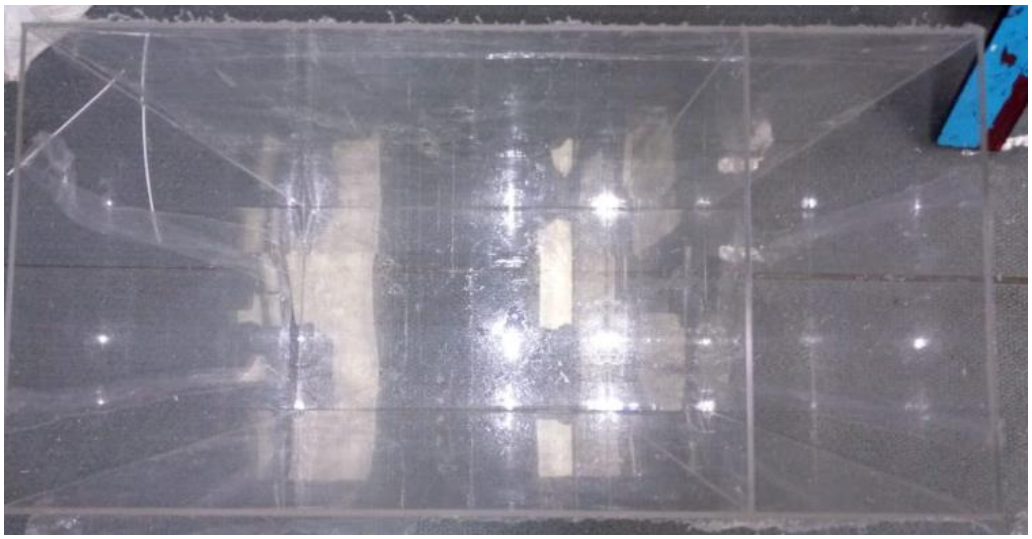

FIGURA 14. Trampa de grasas vista superior, fotografía tomada por los autores.

11.2 Dimensionamiento de desarenador

11.2.1 Formulas

- ✓ Velocidad de sedimentación de partícula

$$V_D = a\sqrt{d}$$

Dónde:

d= Diámetro de partícula (cm)

a= Constante en función del diámetro. Ver tabla 11.

Tabla 11

Constante en función del diámetro.

Diámetro D (mm)	a
D < 0,1mm	51
0.1mm< D< 1mm	44
D > 1mm	36

Tomado de (S.A., S.F.)

- ✓ Altura de la cámara de sedimentación

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

Donde:

v= Velocidad de flujo (m/s)

B= Ancho de cámara (m)

- ✓ Verificación del tipo de flujo

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

Donde:

Q= Caudal (m3/s)

Rh= Radio hidráulico (m)

- ✓ Numero de Reynolds

$$Re = \frac{V * Rh}{v}$$

Donde:

V= Velocidad de flujo (m/s)

Rh= Radio Hidráulico (m)

v= Viscosidad del agua a 20°

- ✓ Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación se determina según el diámetro de partícula, se interpola de ser necesario. Ver tabla 12.

Tabla 12

Velocidad de sedimentación según el diámetro de la partícula.

D (mm)	Vs (cm/s)
0,05	0,178
0,1	0,692
0,15	1,56
0,2	2,16
0,25	2,7
0,3	3,24
0,35	3,78
0,4	4,32
0,45	4,86
0,5	5,4
0,55	5,94
0,6	6,48
0,7	7,32
0,8	8,07
1	9,44
2	15,29
3	19,25
5	24,9

Tomado de (S.A., S.F.)

- ✓ Tiempo de retención

$$T = \frac{H}{Vs}$$

Donde:

H= Altura de desarenador (m)

Vs= Velocidad de sedimentación (m/s)

- ✓ Longitud de cámara

$$L = k * Vd * T$$

Donde:

k= Coeficiente de seguridad. Ver tabla 13.

Vd= Velocidad de flujo (m/s)

T= Tiempo de retención (sg)

Tabla 13

Coeficiente de seguridad según la velocidad de escurrimiento o sedimentación.

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0,2	1,25
0,3	1,5
0,5	2

Tomado de (S.A., S.F.)

- ✓ Transición de entrada

$$LT = \frac{T2 - T1}{tan\left(\frac{12.5 * \pi}{180}\right) * 2}$$

Donde:

$T1$= Espejo de agua en la cámara de sedimentación (m)

$T2$= Espejo de agua en el canal de entrada (m)

11.2.2 Valores obtenidos

Tabla 14

Valores obtenidos para el dimensionamiento del desarenador.

Caudal de diseño (Q)	0,5	L/s
	0,0005	m3/s
Diámetro de la partícula (D)	1,5	mm
Rugosidad de manning (n)	0,01	
Pendiente de entrada y de salida	5%	
Velocidad de flujo (Vd)	44,09081537	cm/s
	0,440908154	m/s
Ancho de cámara (B) Asumido	0,2	m
Altura de la cámara de sedimentación (H)	0,2	m
Verificación del tipo de flujo (V)	0,020833333	m/s
Radio hidráulico (Rh)	0,024	m
Viscosidad de flujo (Vf)	0,000001007	
Numero de Reynolds (Re)	496,5243297	
Velocidad de sedimentación (Vs)	12,365	cm/s
	0,12365	m/s
Tiempo de retención (T)	1,617468662	seg
Longitud de la cámara (L)	1,32095611	m
Coeficiente de seguridad (k)	1,852270384	
Transición de entrada (Lt)	0,396942348	m
Espejo de agua en la cámara de sedimentación (T2)	0,2	m
Espejo de agua en el canal de entrada (T1)	0,024	m

Tabla diseñada por los autores.

11.2.3 Diseño final desarenador

FIGURA 75. Desarenador vista frontal, fotografía tomada por los autores.

11.3 Dimensionamiento filtro de flujo ascendente

11.3.1 Formulas

- ✓ Caudal de diseño

$$Q_{diseño} = 1{,}50 L/s$$

- ✓ Numero de filtros

$$n = 0{,}044 * \sqrt{Q}$$

Dónde:

$Q_{diseño}$ = Caudal de diseño (m^3/s)

- ✓ Caudal de diseño de filtración

$$Qf = \frac{Q}{n}$$

Dónde:

n = Numero de filtros

$Q_{diseño}$ = Caudal de diseño (m^3/s)

- ✓ Área del filtro

$$Af = \frac{Qf}{Tf}$$

Donde:

Af = Área del filtro (m^2)

Qf = Caudal de diseño de filtración $(m^3/dia\ )$

Tf = Tasa de filtración (m/dia)

- ✓ Coeficiente de costo mínimo

$$k_c = \frac{2 * n}{1 + n}$$

Donde:

n = Numero de filtros

- ✓ Ancho del filtro

$$af = \sqrt{\frac{Af}{k_c}}$$

Donde:

Af = Área del filtro (m^2)

k_c = coeficiente de costo mínimo

- ✓ Largo del filtro

$$L_F = \sqrt{k_c * Af}$$

Donde:

Af = Área del filtro (m^2)

k_c = coeficiente de costo mínimo

11.3.1.1 Composición de lecho filtrante

- ✓ Altura del lecho filtrante

$$HLF = e_z + e_a + e_g$$

Donde:

e_z = Espesor de zeolita (m)

e_a = Espesor de arena (m)

e_g = Espesor de grava (m)

- ✓ Altura del filtro

$$Z_f = f_s(C_a + HLF + C_s + F_c)$$

Donde:

f_s = Factor de seguridad

C_a = Altura de la capa de agua (m)

C_s = Altura de la capa de soporte de grava (m)

F_c = Altura de drenaje (m)

HLF = Altura de lecho filtrante(m)

- ✓ Volumen del filtro

$$V_f = Z_f * L_F * a_f$$

Donde:

Z_f = Altura del filtro (m)

L_F = Largo del filtro (m)

a_f = Ancho del filtro (m)

11.3.1.2 Determinación del sistema de drenaje

- ✓ Área de cada orificio

$$Ao = \frac{\pi * D^2}{a}$$

Donde:

D = Diámetro del orificio (m)

- ✓ Caudal que ingresa a cada orificio

$$Qo = Ao * v_o$$

Donde:

v_o = Velocidad en el orificio (m/s)(Tabla)

Ao = Área de cada orificio (m^2)

- ✓ Numero de laterales

$$Nl = n * \frac{L_f}{el}$$

Donde:

Nl = Número de laterales por lado; (Valor asumido)

L_F = Largo del filtro (m)

el = Separación entre laterales (m)

- ✓ Diámetro de entrada al filtro

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * Qf}{\pi * V_t}}$$

Donde:

Qf = Caudal de diseño de filtración (m^3/dia)

v_t = Velocidad tubería afluente (m/s)

- ✓ Diámetro de salida del filtro

$$D_{ts} = \sqrt{\frac{4 * Qf}{\pi * V_s}}$$

Donde:

Qf = Caudal de diseño de filtración (m^3/dia)

v_t = Velocidad tubería efluente (m/s)

11.3.2 Valores obtenidos

Tabla 15

Valores obtenidos para el dimensionamiento del filtro de flujo.

Caudal de diseño (Q)	0,5	L/s
	5,E-04	m3/s
Perdida por remoción de logos 5%	95%	
Caudal de diseño (Qd)	1,71	m3/dia
Numero de filtros (n)	0,057537466	≈
Caudal de diseño de filtración (Qf)	1,71	m3/dia
Área del filtro (Af)	0,34	m2
Coeficiente de costo mínimo (kc)	1	
Acho del filtro (af)	0,584807661	m
Largo del filtro (Lf)	0,584807661	m
Altura lecho filtrante (HLF)	0,42	m
Altura del filtro (Zf)	0,737	m
Factor de seguridad Fs=10%	110%	
Volumen del filtro (Vf)	0,252054	m3
Área de cada orificio (Ao)	1,26,E-05	m2
Caudal de ingreso a cada orificio (Qo)	0,00,E+00	m3/s
Numero de laterales (Nl)	11,69615321	≈
Diámetro de entrada al filtro (Dt)	0,003549615	m
Diámetro de salida del filtro (Dts)	0,006226437	m

Tabla diseñada por los autores.

11.3.3 Diseño final filtro de flujo ascendente

FIGURA 16. Filtro de flujo vista frontal, fotografía tomada por los autores.

11.4 Dimensionamiento de aireador

Para el aireador, al ser un elemento que depende de la DBO y el DBQ, se procedió a diseñar un tanque de 0.60 cm de alto, 0.50 cm de ancho y 0.50 cm de largo, puesto que estos datos no serán constantes en el modelo funcional a escala de PTAR domésticas, se ubicara un motor generador de aire para peceras el cual realizara el tratamiento de aireación del volumen de agua que se contenga en esta sección

11.4.1 Diseño final aireador

FIGURA 17. Aireador vista frontal, fotografía tomada por los autores.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ITEM	ACTIVIDAD	DURACION EN MESES	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11			
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Elaboracion propuesta de grado	1																																												
2	Estudio propuesta de grado	1																																												
3	Correciones propuesta de grado	1																																												
4	Aprobacion propuesta de grado	1																																												
5	Estudios para la elaboracion de la PTAR	2																																												
6	Elaboracion de calculos para el diseño de la PTAR	3																																												
7	Estudio de materiales para la construccion de la PTAR	2																																												
8	Compra de materiales aprobados	1																																												
9	Construccion del modelo a escala	3																																												
10	Prueba inicial modelo a escala	1																																												
11	Correciones del modelo a escala	2																																												
12	Prueba final modelo a escala	1																																												
13	Diseño guia de laboratorio	2																																												
14	Elaboracion informe proyecto de grado	2																																												
15	presentacion resultado final	1																																												
16	Aprobacion proyecto de grado	1																																												

13. CONCLUSIONES

- Luego de una extensa búsqueda en medios virtuales y libros, se logró reunir la suficiente información para entender los conceptos básicos, técnicos y legales de las plantas de tratamiento residuales, para finalmente recolectar esta información y unirla con el fin de generalizar el concepto de los componentes de estas plantas.
- Se realizó una comparación monetaria y física de los posibles materiales con los que se podría diseñar el montaje de la PTAR, llegando así a optar por acrílico por su precio, su fácil manejabilidad y ya que al ser un material transparente se puede observar cómo se comporta el fluido durante su recorrido.
- Cada vez que se genere un laboratorio, se deberá analizar las características del agua que vaya a ser tratada para así poder tener unos datos iniciales ya que durante cada uso el agua cambiara, por lo cual igualmente las propiedades de esta cambiaran.
- Luego de realizar una ardua búsqueda de fórmulas las cuales se adaptarán a la información obtenida para el diseño y así diseñar con los respectivos, se procedió a realizar el montaje y construcción del modelo funcional a escala PTAR domésticas.
- Luego de realizar el montaje se realizó un ensayo del modelo funcional a escala PTAR domésticas, observando que luego de realizar el recorrido completo el agua residual mejoro sus propiedades físico-químicas, luego de un tiempo continuo de funcionalidad de esta.

- Se realizó la respectiva guía de laboratorio con el fin de hacer una actividad para elaborar en clase y adquirir los conocimientos respectivos.

14. REGISTRO FOTOGRAFICO

FIGURA 88. Láminas de acrílico para la construcción del modelo funcional a escala PTAR domésticas, fotografía tomada por los autores.

FIGURA 9. Construcción de la trampa de grasas, fotografía tomada por los autores.

FIGURA 20. Construcción de la trampa de grasas, fotografía tomada por los autores.

FIGURA 21 Finalización de la trampa de grasas, fotografía tomada por los autores.

FIGURA 22. Construcción del desarenador, fotografía tomada por los autores.

FIGURA 23. Elementos para el modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, fotografía tomada por los autores.

FIGURA 24. Montaje bomba de circulación modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores.

FIGURA 25. Vista frontal modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores.

FIGURA 26. Vista posterior modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores.

FIGURA 27. Montaje final del modelo funcional a escala PTAR domésticas finalizados, tomada por los autores.

15. ANEXOS

1. Guía para la ejecución del laboratorio

16. REFERENCIAS

AGRICULTURA, M. D. (26 de JUNIO de 1984). DECRETO 1594 DE 1984. BOGOTA, COLOMBIA.

AGUASISTER. (S.F.). Obtenido de http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.php

ALVARADO GRANADOS, J. F., & RAMOS VILLANUEVA, J. E. (2010). *ESTADO DEL ARTE DE LAS ESTRUCTURAS: TRAMPAS DE GRASA Y DESARENADORES EN SISTEMAS AIREADOS DE ALCANTARILLADOS.* BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD DE LA SALLE.

CICI. (01 de 05 de 2017). *INCORE.* Obtenido de http://www.incoreinsightlytics.com/dbfot-of-sewage-treatment-plant/

CONGRESO DE COLOMBIA. (11 de JULIO de 1994). LEY 142 DE 1994. COLOMBIA.

CRISTIAN, J. Y. (23 de 06 de 2016). *NUEVA ESPARTA*. Obtenido de http://blogproyecto2c10.blogspot.com/2016/06/razones-por-las-cuales-no.html

FORERO DE SAADE, M. T., & GAITAN GONZALEZ , C. J. (10 de MARZO de 1998). *REPOSITORIO SENA*. Obtenido de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/#

FUNDACION AQUAE. (02 de FEBRERO de 2016). Obtenido de https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/datos-del-agua/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/

GONZALEZ SILVA, J. P., & GOMEZ ORTEGA, K. A. (2016). *REPOSITORIO UNIVERSIDAD CATOLICA.* Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13907/4/OPTIMIZACI%C3%93N%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20BOJAC%C3%81.pdf

HELIAR WATER TREATMENT. (s.f.). Obtenido de http://www.heliarwt.com/plantas-de-tratamiento.html

L.GIL-CARRERA, A. E. (06 de 08 de 2014). *AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de https://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/tratamiento-de-aguas-residuales-urbanas-mediante-electrolisis-biocatalitica-en-un-reactor-mec-bicameral

LEON PINTO, J. L. (2007). DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS AEROPUERTOS INTERNACIONALES DE IQUITOS Y AREQUIPA. LIMA, PERU: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.

MAQUINARIA PARA CIMENTACIONES ESPECIALES. (28 de OCTUBRE de 2012). Obtenido de https://maquinariacimentaciones.wordpress.com/2012/10/28/que-es-un-desarenador-y-para-que-sirve/

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. (NOVIEMBRE de 2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000. *TITULO E*. BOGOTA D.C., COLOMBIA.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (08 de JUNIO de 2017). RESOLUCION 0330. COLOMBIA.

MOLINA GUTIERREZ, D. A., & ROJAS MONTAÑA, F. E. (2007). *ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE CUNDINAMARCA BASADO EN LA EXPERIENCIA DEL MUNICIPIO DE TENJO [CUNDINAMARCA].* BOGOTA: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

P, G. (S.F.). *CONCEPTO DE DEFINICION*. Obtenido de https://conceptodefinicion.de/ph/

PEDRO. (29 de 01 de 2012). *TARINGA!* Obtenido de https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/aguas-residuales-y-agua-potable_12o6yy

PUENTES FONSECA, F. A., & JIMENEZ OCAMPO, J. A. (2009). *Diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Toncacipa.* BOGOTA: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

ROJAS, J. A. (2002). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEORIA Y PRINCIPIOS DE ISEÑO.* BOGOTA: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA.

RUIZ CUELLO, T., PESCADOR PIEDRA, J. C., RAYMUNDO NUÑEZ, L. M., & PINEDA CAMACHO, G. (s.f.). *SCIELO*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212015000300010

SARMIENTO LOPEZ, O. D. (2003). *PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS SÓLIDOS.* BOGOTA: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

SOSTENIBLE, M. D. (17 de MARZO de 2015). RESOLUCION 631 DE 2015. BOGOTA.

WIKIPEDIA. (03 de 04 de 2019). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Sedimentaci%C3%B3n

17. BIBLIOGRAFÍA

1. AGENCY, E. P. (04 de 1996). TECHNOLOGY TRANSFER HANDBOOK MANAGEMENT OF WATER TREATMENT PLANT RESIDUALS. NEW YORK, ESTADOS UNIDOS: EPA ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY.
2. ALVARADO ESPEJO, P. (2013). ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL BARRIO SAN VICENTE, PARROQUIA NAMBACOLA, C ANTON GONZANAMA. LOJA, ECUADOR: UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA.
3. ANDRADE ROSAS, Y., & CASTRO CAÑON, L. (25 de 10 de 2017). DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENDO DE AGUA RESIDUAL EN EL HOSPITAL NUEVO DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRA-COLOMBOIA. BOGOTA, COLOMBIA: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
4. *BIBLIOTECA UNIVERSIDAD DE PIURA*. (S.F.). Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf
5. CAR. (S.F.). *PTAR SALITRE*. Obtenido de https://ptarsalitre.com.co/
6. CUERVO, R. B. (2002). *TRATAMIENTO Y POSTRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* BOYACA: UNIVERSIDAD DE BOYACA.
7. FAIR MASKEW, G., CHARLES GEYER, J., & OKUN, D. (2010). *ABASTECIMIENTO DE AGUA Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES.* MEXICO: LIMUSA NORIEGA EDITORES.
8. FERRER POLO, J., & SECO TORRECILLAS, A. (s.f.). *TRATAMIENTOS BIOLOGICOS DE AGUAS RESIDUALES.* UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

9. GALEANO NIETO, L. J., & ROJAS IBARRA, D. V. (2016). PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUARESIDUAL POR ZANJON DE OXIDACION PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ - SANTANDER. BOGOTA, COLOMBIA: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
10. INDUSTRIAL, M. (22 de 01 de 2015). *AGUAS RESIDUALES.INFO*. Obtenido de https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/cloracion-en-los-procesos-de-tratamiento-de-aguas-residuales
11. JUANA, R. I. (2005). *PROYECTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA. AGUAS DE PROCESO, RESIDUALES Y DE REFRIGERACION.* ESPAÑA: BELLISCO.
12. MARQUEZ, B. F. (12 de 09 de 2016). *IAGUA*. Obtenido de https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i
13. METALCAF & EDDY. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, REDES DE ALCANTARILLADO Y BOMBEO.* MADRID: MC GRAW HILL.
14. METALCAF & EDDY. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION.* MADRID: MC GRAW HILL.
15. MOLINA SANCHEZ, J. (2010). MODELAMIENTO DE LAS CONDICIONES HIDRAULICAS DE UNA PLANTA COMPACTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. MEDELLIN, ANTIOQUIA, COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLIN.
16. NAPOLEON ZAMBRANO, A. (2014). *RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES.* UNIVERSIDAD DEL CAUCA.

17. RONZANO, E., & DAPENA, J. L. (s.f.). *TRATAMIENTO BIOLOGICO DE LAS AQGUAS RESIDUALES.* DIAZ DE SANTOS.
18. S.A.S., F. Y. (s.f.). *FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA S.A.S.* Obtenido de https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/cloracion-definicion-y-factores/
19. SALDARRIAGA V., J. (1998). *HIDRAULICA DE TUBERIAS.* BOGOTA: MC GRAW HILL.
20. SALGUERO, L., & OAKLEY, S. (2011). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CENTROAMERICA. UN MANUAL DE EXPERIENCIAS, DISEÑO, OPERACION Y SOSTENIBILIDAD.* USAID.
21. SEOANEZ CALVO, M. (2012). *MANUAL DE LAS AGUASS RESIDUALES INDUSTRIALES.* MC GRAW HILL.