

**ESTUDIO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE REMOCIÓN DE
ACEITES EN AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA VERTIMIENTO
EN CUERPOS DE AGUA**

PAULA ANDREA GRANADOS PABUENA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Junio 18 del 2020**

**ESTUDIO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE REMOCIÓN DE
ACEITES EN AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA VERTIMIENTO
EN CUERPOS DE AGUA**

PAULA ANDREA GRANADOS PABUENA

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIER(A)O QUÍMIC(A)O**

Director: CARLA STEPHANNY CÁRDENAS BUSTOS

Ingeniera Química

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Pamplona, Junio 18 del 2020

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a esas personas que estuvieron presente en mi vida, siempre ocuparán un gran espacio en mi corazón y sus recuerdos vivirán en mí.

Freddys Pabuena Subero.

Otilia Subero de Pabuena.

Eustorgia Rada de Granados.

Ricardo Granados Rada.

Q.D.E.P

AGRADECIMIENTOS

Pueden pasar 1000 años y nunca terminaría de agradecerles a mis padres, Vicente Granados y Usmilda Pabuena, por todo el esfuerzo, enseñanzas y lecciones dadas a mis y mi hermano, los amo con todas mis fuerzas.

A mis hermanos Deivis Granados y Carlos Granados por su protección y sobre todo a mi hermana Alejandra Granados por estar siempre, por ser un pilar, un polo a tierra y comprender en los mejores y peores momentos, a mi familia en general por estar unida a pesar de las diferencias que se presentan.

A mi sobrina Ana Sofía Granados por ser una luz en mis días nebulosos.

A Nathalia Hernández y Eibar Villamizar por su amistad, que con el pasar del tiempo se convirtieron en mi segunda familia, agradezco a mis compañeros y amigos que estuvieron presentes en el camino, con quienes compartí alegrías y tristezas y a todas esas personas que me fui encontrando en este camino que dejaron grandes enseñanzas.

Agradezco la tutoría de todos los docentes que tuve a lo largo de mi vida, y a Carla Cárdenas por ser mi guía en este trabajo.

Y a Dios por poner a cada una de estas personas en mi vida.

GLOSARIO

Cuerpos de agua: son considerados los ríos, lagos, acuíferos, ríos subterráneos, casquetes polares, océanos y mares.

ARD: Siglas de Aguas Domesticas

Colisión: El choque se define como la interacción mutua entre dos o más cuerpos o partículas

Coalescencia: Unión de las partículas en suspensión.

PTAR: Planta de tratamiento residuales

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN | 11 |
| 3. OBJETIVOS..... | 12 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 12 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 12 |
| 4. GENERALIDADES..... | 13 |
| 4.1 CONTAMINACIÓN EN AGUAS. | 13 |
| 4.2 ¿QUE SON LAS AGUAS RESIDUALES? | 14 |
| 4.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS | 16 |
| 4.3.1 Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) | 16 |
| 4.3.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) | 17 |
| 4.4 TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE ACEITE..... | 20 |
| 4.5 TRAMPA DE ACEITE..... | 20 |
| 4.6 TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN TANQUES DE SEDIMENTACIÓN | 21 |
| 4.6.1 Coagulación | 22 |
| 4.6.2 Floculación..... | 22 |
| 4.7 Sistema de flotación por aire disuelto (FAD)..... | 23 |
| 4.8 TANQUE DE SEPARACIÓN POR FILTRO COALESCENTE..... | 24 |
| 4.8.1 Filtros coalescentes con diseño lamelar | 24 |
| 4.9 ELECTROCOAGULACIÓN | 26 |
| 4.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS | 28 |
| 5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS | 31 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 34 |
| 7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS | 35 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIA | 36 |
|-----------------------------------|----|

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Contaminantes que afectan la calidad del agua | 13 |
| Tabla 2. Clasificación de aguas residuales municipales | 18 |
| Tabla 3. Valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua; Aceites y grasas..... | 19 |
| Tabla 4. Ventajas y desventajas de los métodos | 28 |
| Tabla 5. Porcentajes de remoción de aceite en cada método..... | 31 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Obstrucción de tuberías por aceites y grasas..... | 16 |
| Figura 2. Diseño del proceso de trampas de Aceite..... | 21 |
| Figura 3. Proceso y esquema de las capas en un tanque de sedimentación. | 23 |
| Figura 4. Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto..... | 24 |
| Figura 5. Estructura interna de un filtro de diseño lamelar..... | 25 |
| Figura 6. Diseño del tanque de separación por filtro coalescente..... | 25 |
| Figura 7. Funcionamiento de un Filtro lamelar. | 26 |
| Figura 8. Diseño de un proceso de electrocoagulación..... | 27 |

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las mayores problemáticas a la que nos enfrentamos es a la contaminación de agua por desechos urbanos tales como el aceite, ya que por cada litro de aceite se contamina alrededor de 40.000 litros de agua (González & González, 2015).

El drenaje de las aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales negativos en los cuerpos de agua receptores, aumentando la concentración de contaminantes. Los tratamientos que se le aplican a las aguas residuales deben ser lo más aptos para el proceso, para así poder evitar futuros desastres ambientales por las contaminaciones de cuerpos de agua a causa de los desechos producidos por la sociedad.

Los flujos residuales son provenientes de diferentes fuentes como las industrias y municipios, donde contienen materia orgánica e inorgánica, y otras sustancias que pueden afectar las propiedades fisicoquímicas de los cuerpos de agua, la fauna y flora que los rodea.

Este trabajo se centra en hacer una recopilación de diferentes investigaciones sobre los tratamientos de remoción de aceite en aguas residuales urbanas provenientes de los desechos domésticos, en el cual analizaremos las diferentes alternativas de procesos de remoción con el fin de encontrar el método más adecuado para la extracción de aceites en un mayor porcentaje y así poder hacer una comparación de resultados.

La primera parte consiste en la selección de diferentes tipos de tratamiento para la remoción de aceite; en la segunda se hará un análisis detallado de cada método, haciendo un reconocimiento general del proceso, seguido de una descripción y terminando con las ventajas y desventajas que presenta cada método; y por último hacer una comparación entre las diferentes técnicas para determinar el proceso más recomendable teniendo en cuenta factores tales, accesibilidad y factibilidad en implementación.

2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

Según las cifras de la ONU en el 2015, al día son evacuados 2 millones de toneladas de aguas residuales domesticas en cuerpos de agua a nivel mundial (ONU-DAES, 2015) y según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) en el 2017 se registró que el 57.8% de las agua residuales domesticas en Colombia no son tratadas (Parra & Castillo, 2017), haciendo de este uno de los focos de contaminación más grande debido a la falta de gestión y tratamiento de residuos humanos, industriales y agrícolas.

Dada la problemática mencionada, se realizará un trabajo monográfico sobre las aguas residuales Urbanas, las cuales se ven comprometidas por la contaminación de aceites de usos domésticos.

Este trabajo va enfocado a las instalaciones encargadas del manejo y acondicionamiento de aguas residuales. Para este propósito se lleva a cabo una revisión de varias investigaciones con la finalidad de analizar y hablar sobre los distintos métodos que se emplean para la remoción de aceite en el tratamiento de aguas residuales y su acondicionamiento para ser descargada en cuerpos de agua.

El desarrollo de este trabajo se hace con el fin de proporcionar una mejor perspectiva sobre las tecnologías empleadas para la remoción de aceites provenientes de los desagües municipales y las estrategias que se podrían emplear en un diseño de planta de tratamiento de aguas residuales.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo sobre los diferentes métodos de remoción de aceite en aguas residuales urbanas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los métodos más eficientes de remoción de aceites en aguas.
- Realizar un análisis de cada método de remoción.
- Comparar los métodos seleccionados para determinar el más adecuado y recomendado para remover aceites, además que cumpla con las normas estipuladas por el marco de saneamiento ambiental.

4. GENERALIDADES.

El agua es un recurso natural no renovable que cumple un papel importante para la humanidad, el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta puesto que es un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la constituyen. Con el incremento de la población mundial y el desarrollo tecnológico hay un gran aumento en el consumo del agua, dando paso al vertimiento de contaminantes en cuerpos de agua que como resultado conllevan a complicaciones que se ven reflejadas en el ecosistema y la salud humana.

En Colombia las aguas residuales generadas son aproximadamente el 70 a 80% del volumen consumido como agua potable, lo que conlleva a una problemática causada por descargas incontroladas de aguas residuales, además en Colombia sólo existen 237 plantas de tratamiento de aguas residuales (Consuelo et al., 2010).

4.1 CONTAMINACIÓN EN AGUAS.

Se considera como contaminación a la presencia de sustancias químicas o de diferente naturaleza en concentraciones anormales a las condiciones reglamentarias. Entre los contaminantes más comunes se encuentran los compuestos orgánicos e inorgánicos, nutrientes, metales tóxicos y contaminación microbiana (Secretaría de Salud, 2014) los cuales son ingresados de forma antinatural y tienen un impacto negativo en la calidad del agua (tabla 1).

Tabla 1. Contaminantes que afectan la calidad del agua.

Fuente: Tabla tomada y modificada de (Tous & Castro, 2011)

| Contaminantes | Fuentes | Efecto |
|----------------------|--|---|
| Compuestos Orgánicos | Aguas residuales domésticas, materia fecal, residuos de alimentos y algunos residuos industriales. | Se descomponen en el agua, disminuyen el oxígeno disuelto en el agua, generando cambios en los ciclos metabólicos microbianos, en la química de los sedimentos y en las comunidades bentónicas. |
| Nutrientes | Fertilizantes, detergentes, residuos industriales y aceites. | El incremento de fosfatos y nitratos, en el agua induce eutrofización en los |

| | | |
|------------------------------|--|--|
| | | cuerpos de agua por la proliferación de algas. Turbiedad en las aguas y disminución del pH. |
| Metales pesados | Proviene de centros industriales, mineros, actividades militares o a través de lixiviados, meteorización y erosión de las rocas. | Se destacan por su ubicuidad, en algunos casos, constituyen compuestos esenciales para los organismos a nivel de cantidades traza pero que, dependiendo de la forma en la que el elemento esté representado en el medio y de su concentración, pueden ser altamente tóxicos para las distintas formas de vida, acarreado incluso la muerte de organismos, mediante la bioacumulación y la biomagnificación en la cadena trófica. |
| Contaminación microbiológica | Microorganismos patógenos presentes en desechos domésticos no tratados, agua de lastre, criaderos de animales, efluentes contaminados con heces de animales y/o humanos. | Actúan como agentes productores de diferentes enfermedades respiratorias, dermatológicas, gastrointestinales y/o intoxicaciones. |
| Compuestos inorgánicos | Químicos Industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos del petróleo, compuestos de pinturas y antiincrustantes. Incineración de residuos sólidos. Alteraciones ecosistémicas, contaminación acuática y terrestre. | Daño celular, muerte de los individuos, cáncer y/o alteraciones al sistema inmunológico. La contaminación está dada por el aporte de ácidos, color, sabor y olor al agua. |

4.2 ¿QUE SON LAS AGUAS RESIDUALES?

Las aguas residuales son aguas que han sido usadas y su composición química fue alterada, son consideradas como residuos ya que no tiene uso directo debido a su contaminación. Dada su

contaminación es necesario llevar a cabo un tratamiento de varias etapas para mejorar su calidad (Eduardo & Prieto, 2001). Las aguas residuales se clasifican en dos tipos: industriales y municipales, y según su procedencia dependerá el tratamiento a realizar.

Las características de las aguas residuales industriales cambian dependiendo de su procedencia, existen aguas residuales industriales que sus características son incompatibles con las municipales, por lo que su tratamiento es externo al de aguas residuales urbanas, pero las aguas que son compatibles requieren de un tratamiento especial antes de poder ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal, según la resolución 0631 del 2015, donde el contenido de grasa y aceites debe ser máximo 20 mg/L (Re. 883, 2018).

El agua residual municipal se compone de diferentes tipos de desechos líquidos, desde las aguas de drenaje doméstico y de servicios, tiene olor característico a queroseno y color grisáceo, maneja una temperatura que varía entre 10 y 20 °C, esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones (Lizarazo & Orjuela, 2013).

Las aguas residuales domesticas provienen de áreas residenciales y de actividades de tipo doméstico, de establecimientos comerciales y de instituciones como hospitales, escuelas, universidades, edificios, etc (Bokova, 2017). Estos se originan principalmente en la cocina, baños y lavandería. Un porcentaje de la población no tiene conciencia ambiental puesto que desechan la mayoría de los residuos por las tuberías donde ocurre una aglomeración de diferentes sustancias entre ellas productos aceitosos que además de provocar dificultades en el tratamiento causan taponamientos en los ductos, también dan lugar a la contaminación del suelo y los cuerpos de agua donde éstas son descargadas (Truque, 2015).

Cuando las aguas residuales domesticas ingresan al sistema de alcantarillado municipal, las grasas y aceites tienden a solidificarse y adherirse a las líneas de desagüe obstruyendo los ductos públicos como se logra ver en la Figura 1, causando acumulaciones y haciendo ineficiente los sistemas de bombeo y cañerías. Estos taponamientos son perjudiciales ya que el agua podría derramarse hacia la vía pública o en caso de lluvias causar inundaciones poniendo en riesgo la salud de la población expuesta.



Figura 1. Obstrucción de tuberías por aceites y grasas.

Fuente: Figura tomada de (Holtrop, 2016)

El principal proveedor de aceite procede de los desperdicios alimentarios, al ser inmiscibles con el agua, va a permanecer en la superficie debido a su diferencia de densidades dando lugar a la aparición de natas y espumas las cuales obstaculizan diferentes tipos de tratamiento ya sea biológico o físico-químico, dadas estas condiciones se recomienda eliminar los aceites presentes para después seguir con su debido proceso.

4.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

La función de las plantas de tratamiento es la eliminación o depuración de los contaminantes y características no deseadas en el agua, bien sean fuentes naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales, por ello existen plantas de tratamientos de potabilización y de depuración de aguas residuales. (Orellana, 2016), para esto se realiza una serie de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico (Consuelo et al., 2010).

El agua debe tener un rango de calidad que indique que es apta para el consumo humano ya que siempre va estar relacionada con el bienestar de la flora y la fauna.

4.3.1 Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP)

La planta de tratamiento de agua potable (PTAP) es la encargada de garantizar que el agua sea apta para el consumo humano, existen diferentes tecnologías y métodos para potabilizar el agua. El agua a tratar en una PTAP es proveniente de nacimientos o ríos y debido a esto se debe hacer una serie de procesos para poder eliminar sólidos, contaminantes y

microorganismos que llegan a estos cuerpos de agua por la contaminación producida por poblaciones aledañas que residen cerca de estos (GRUPO TAR, 2013).

El tratamiento de agua potable sigue el siguiente proceso:

- Captación del agua: Punto donde se recibe el agua, el cual tiene un sistema enrejado que impide el ingreso de elementos de gran tamaño como ramas, troncos, peces, etc.
- Desarenador: cámara en donde se deja en reposo el agua para que las arenas que van suspendidas se depositen en el fondo.
- Cámara de mezcla: Donde se agrega al agua productos químicos. Los principales son los coagulantes para flocular sustancias presentes y alcalinizantes para estabilizar el pH del agua.
- Decantador: El agua llega a un tanque de almacenamiento donde se reposa, permitiendo que se depositen las impurezas en el fondo, gracias al coagulante que atrapan las impurezas formando pesados coágulos este proceso es acelerado. El agua sale muy clarificada y junto con la suciedad quedan gran parte de las bacterias que contenía.
- Filtro: El agua decantada pasa por un filtro terminando de eliminar trazas solidas pequeñas presentes en el agua.
- Desinfección: en este punto es añadido cloro que elimina el exceso de bacterias y lo que hace que el agua llegue en condiciones de asepsia hasta las viviendas.

(Salamanca, 2017)

Debido a que el agua es usada para consumo, esta debe cumplir con unos requisitos al salir de la PTAP señalados en el decreto 475 de 1998, que puede ser consumida por la población humana sin producir algún efecto adverso a la salud (DECRETO 475, 1998).

4.3.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

En las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se realizan diferentes procesos para descontaminar el agua por medio de una serie de pasos que permiten limpiar el fluido con un alto grado de efectividad. El objetivo principal de la PTAR, es eliminar los residuos sólidos, sustancias oleosas y contaminantes presentes en el agua para ser descargada en cuerpos de agua (Galeano & Ibarra, 2016).

Las PTAR requiere equipos especializados para los procesos de depuración del agua, como construcción de cámaras y estanques adecuados, así como la utilización de diferentes tecnologías que permita el funcionamiento óptimo de la planta de tratamientos (Galeano & Ibarra, 2016).

El diseño y manejo de las plantas de tratamiento de aguas residuales requieren de una clasificación de las aguas residuales. La tabla 2 muestra la clasificación de las aguas residuales municipales en donde se ven los niveles de contaminación.

Tabla 2. Clasificación de aguas residuales municipales.

Fuente: Tabla tomada de (Rojas, 2013)

| Constituyente | Nivel de contaminación | | |
|----------------------------------|------------------------|-------|------|
| | Alto | Medio | Bajo |
| Sólidos totales | 1200 | 700 | 350 |
| DBO (5 días, 20°C) | 300 | 200 | 100 |
| DQO | 570 | 380 | 190 |
| Nitrógeno (N) | 85 | 40 | 20 |
| Fósforo total (P) | 20 | 10 | 6 |
| Cloruros (Cl) | 100 | 50 | 30 |
| Alcalinidad (CaCO ₃) | 200 | 100 | 50 |
| Grasas | 150 | 100 | 50 |
| Calcio (Ca) | 110 | 50 | 10 |
| Magnesio (Mg) | 10 | 9 | 8 |
| Sodio (Na) | 100 | 50 | 23 |

Las plantas de tratamiento realizan tres procesos básicos para la depuración del agua residual (Lahera, 2010).

- Almacenamiento del agua en grandes tanques donde los residuos sólidos, material oleoso y lodos son retirados.
- Procesos de filtración que termina de eliminar cualquier tipo de material sólido contenido en el agua.
- Oxigenación del agua y tratamiento a nivel químico para eliminar minerales contaminantes y otras impurezas.

Las aguas se encuentran protegidas y existen leyes que se deben cumplir para las aguas tratadas antes de ser desembocadas en cuerpos de agua. Dichas normas nos indican los límites máximos permitidos dependiendo de dónde se haga la descarga. La resolución 631 del 2015, capítulo V, artículo 8 (Re. 0631, 2015) contiene los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas (Tabla 3), el límite máximo permisible de aceites será de 20 mg/L para aguas residuales domésticas (ARD), soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares y de actividades industriales, comerciales o de servicios (Tabla 3.).

Tabla 3. Valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua; Aceites y grasas.

Fuente: Tabla tomada de (Re. 0631, 2015)

| Parámetro | Unidades | Aguas residuales domésticas (ard) de las soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares | Aguas residuales domésticas (ard), y de las aguas residuales (ard – arnd) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, con una carga menor o igual a 625,00 kg/día db_{o5} |
|---|---------------------|--|--|
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 200,0 | 180,0 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 90,0 | 90,0 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L | 100,0 | 90,0 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,0 | 5,0 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 20,0 | 20,0 |

4.4 TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE ACEITE

El tratamiento de remoción de aceites es básicamente retirar los oleos que se encuentran en la capa superficial del agua aprovechando la baja densidad que estos tienen. Asimismo, se pueden eliminar partículas de baja densidad, para esto existen diferentes métodos ya sean de procesos fisicoquímicos o físicos que pueden eliminarse hasta un 75% de las partículas suspendidas (Flores & Ortiz, n.d.).

La remoción de aceites es unos de los primeros tratamientos que se le realiza al agua, en el cual se prepara o acondiciona de las aguas residuales con el objetivo de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables dado que estos desechos pueden causar taponamientos y alterar el funcionamiento de los otros equipos (Ramalho, 2011).

Los métodos para remoción de aceites en aguas residuales municipales son: (Lizarazo & Orjuela, 2013)

- Trampas de aceite
- Tratamiento por coagulación-floculación en tanques de sedimentación
- Sistema de flotación por aire disuelto (FAD)
- Tanque de separación por filtro coalescente
- Electrocoagulación

Uno de los efectos que se produce al no remover los aceites es la oxigenación de los cuerpos de agua, ya que al crearse una película flotante que impide el intercambio aire-agua que oxigena el agua además de absorber la radiación solar que afecta la actividad fotosintética, impidiendo la producción de oxígeno disuelto (Janet & Adriana, 2012)

4.5 TRAMPA DE ACEITE

Las trampas de aceite es el sistema más sencillo de remoción y método antiguo utilizado en las plantas de tratamiento residual convencional con el objetivo de prevenir el taponamiento de las tuberías y daños en unidades posteriores.

Este tratamiento se aplica cuando se manejan grandes caudales, son usados como primera etapa de separación de aceite y agua, así reducirá la carga de contaminación que está siendo

descargada haciendo que los procesos continuos no estén tan saturados y también permitirá la recuperación de las grasas y/o aceites potencialmente útiles.

Las trampas de aceite reducen el flujo del agua procedente de las tuberías, con lo que los oleos y el agua tienen tiempo para enfriarse. Este enfriamiento hace que las grasas se coagulen y floten en la superficie mientras que los lodos se depositen en el fondo (Chinchilla, 2015).

La trampa de grasas tiene 4 compartimentos, ambos separados por material de concreto encargado de no dejar pasar el flujo de un lado a otro. El primer compartimento es el más grande, por donde entra el agua residual urbana, el aceite y grasas se separa al ser más liviana que el agua, esta es desembocada a los compartimentos continuos de menor tamaño 2 y 3 el cual tiene el mismo funcionamiento del 1 y por último desemboca al 4 compartimento donde el agua sale clarificada.

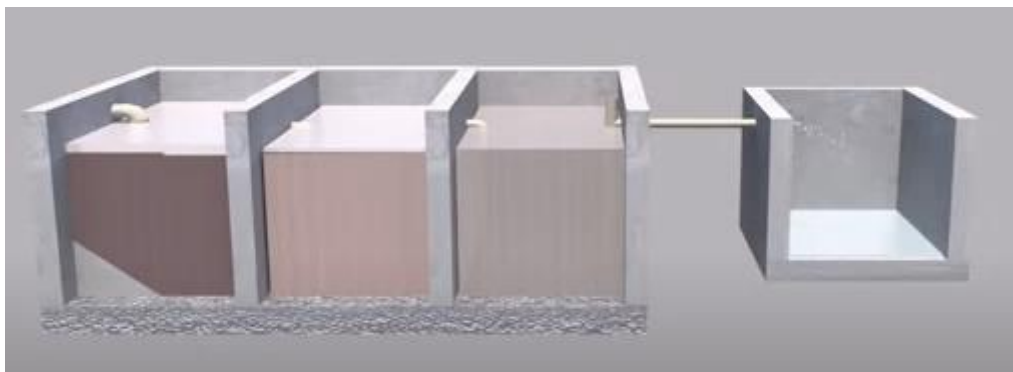


Figura 2. Diseño del proceso de trampas de Aceite.

Fuente: Figura tomada de (Sanchez, 2011)

Los niveles pueden variar en el tipo de tratamiento que se desea realizar, a mayor número compartimento, mejor será el proceso de separación

4.6 TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN TANQUES DE SEDIMENTACIÓN

Los tanques de sedimentación son utilizados para retener el agua, donde ocurre la separación de sustancias oleosas y sólidas de los lodos, inicialmente es usado para el tratamiento primario de aguas servidas y para la clarificación de las mismas (Dodane & Magalie, 2011).

En sus inicios solo se dejaba el agua reposar por determinado tiempo, haciendo la separación totalmente gravitacional, pero esto tomaba tiempos largos y no era lo suficientemente eficiente,

se empezó a adicionar aditivos que aceleraban este proceso y mejorando la remoción de oleos y solidos suspendidos, estos aditivos son conocidos como coagulantes y floculantes.

La coagulación y floculación es el método para la remoción de partículas coloidales y suspendidas entre el 80 a 90% del agua, este método es muy usado en las plantas de tratamiento ya sea residuales o potables, dado a que puede reducir la turbidez del agua, remover el color, bacterias, y virus (López, 2018).

4.6.1 Coagulación

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, el proceso de coagulación necesita una fuerte mezcla instantánea para dispersar el coagulante y favorecer las reacciones químicas iniciales, este período necesita un tiempo de 10 min como mínimo, donde se realiza una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad y el agua misma (Ojeda, 2012). La selección primaria de cada uno de los coagulantes depende del pH del agua a tratar.

4.6.2 Floculación

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre ellas para establecer puentes químicos entre sí, en conclusión para que las partículas se puedan unir y formar primero microfloculos, para luego irse aglomerados voluminosos hasta formar un capa de material suspendido en el agua (Ojeda, 2012).

Antes de ingresar el agua residual al tanque, pasa por un proceso en donde se le es añadido parcialmente el coagulante y floculante, al ingresar al tanque ella empieza un proceso de separación gracias a los aditivos, haciendo la aparición de 3 capas, donde la superior es un capa oleosa con sólidos suspendidos, estas al momento de ascender quedan atrapadas por unos muros, la capa inferior compuesta por lodos retenidos que son retirados por una tubería ubicada en el fondo, la segunda capa es el agua depurada la cual sale del sistema por una apertura situada estratégicamente donde las capas superior e inferior no puedan salir.

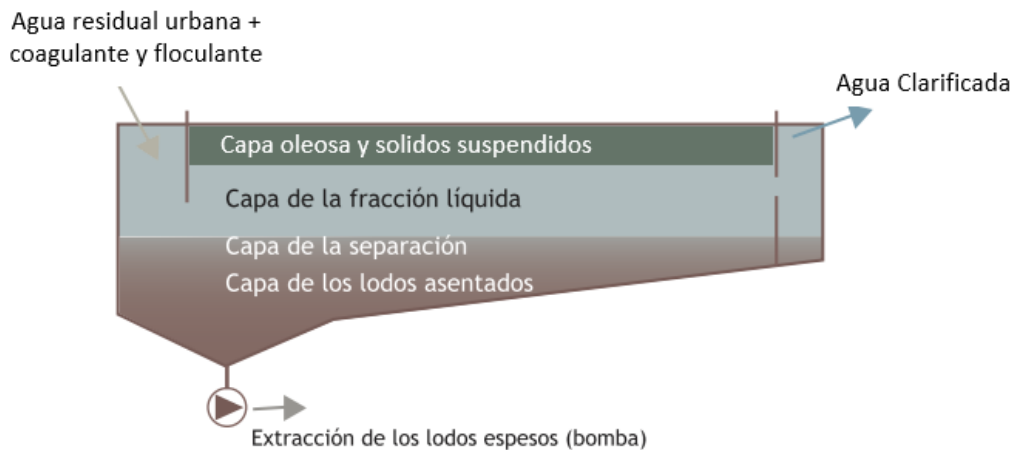


Figura 3. Proceso y esquema de las capas en un tanque de sedimentación.

Fuente: Figura tomada de (Dodane & Magalie, 2011)

4.7 SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (FAD).

La flotación por aire es un método de separación física el cual es utilizado para el tratamiento de aguas residuales, que remueve aceites y sólidos suspendidos. (Forero & Diaz, 2012)

Es un proceso unitario que consiste en separar algunas sustancias coloidales de una fase líquida, este proceso consiste en introducir unas micro-burbujas dentro del agua a tratar.

Este tratamiento se puede trabajar de dos maneras; primero con una inyección de aire por medio de una bomba donde se aprovecha la fuerza de impulso generada por la inyección, o un tanque de presurización donde el aire es disuelto hasta saturación bajo una presión entre cuatro y seis atmosferas, seguido de una descompresión a presión atmosférica, al disminuir la presión del líquido (Argueta, 2011), el gas disuelto se libera en toda la masa del líquido del tanque de flotación en forma de finas burbujas, estas se adhieren a las partículas coloidales reduciendo su densidad convirtiéndolas en material flotante (Maria & Graterol, n.d.). La FAD es un proceso bastante efectivo en la remoción de sustancias con baja densidad como el aceite ya que esta incrementa su velocidad de ascenso dando resultados en poco tiempo. (Lozano, 2012)

El tanque de proceso FAD se divide en dos compartimientos, el primer compartimento es la zona de contacto y el segundo compartimento es la cámara de separación, ambas están separadas por un deflector. (Mario & Ennis, 2009)

En la primera zona, el tanque presurizado es donde ocurre contacto, donde las partículas y la mezcla de burbujas aire con coagulante colisionan y se unen entre ellas, después de ello la

suspensión es arrastrada a la segunda cámara donde ocurre la separación. En este paso las burbujas colisionadas ascienden hasta llegar a la parte superior del tanque haciendo que se forme una gran capa compuesta de burbujas, partículas de aceite y desechos que han sido arrastrados, esta se retira del tanque por un sistema de barrido superficial dejando el agua clarificada en el fondo del tanque para ser removida del proceso. (Chávez, 2017)

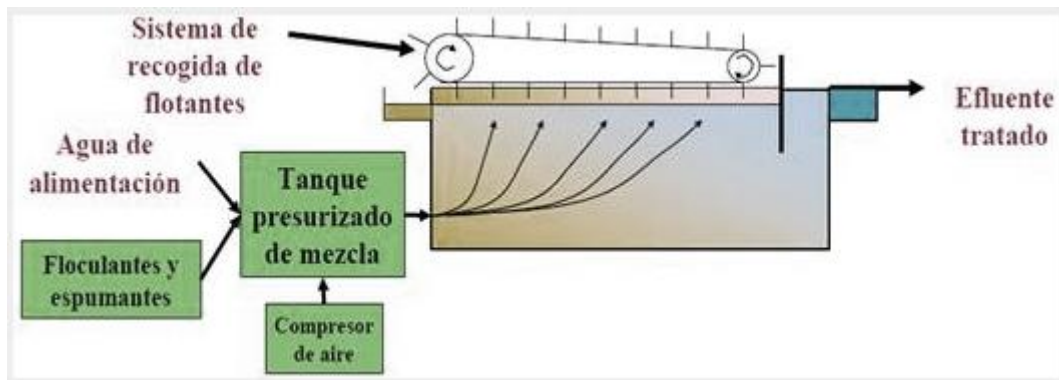


Figura 4. Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto.

Fuente: Figura tomada de (Mario & Ennis, 2009)

4.8 TANQUE DE SEPARACIÓN POR FILTRO COALESCENTE

Es un sistema hidráulico continuo, funciona sin carga eléctrica o algún proceso electromecánico, la separación de aceite y agua ocurre por diferencia de densidad y coalescencia haciendo de este un proceso muy sencillo (College, 2015).

Los filtros están diseñados para aglomerar partículas pequeñas aceitosas en otras mayores para ir aumentando su volumen y por ende su capacidad de flotación así clarificado el agua.

Él nos permite una efectiva separación de grasas, aceites de naturaleza mineral en las aguas residuales, gracias a la diferencia de densidades y coalescencia (Díaz, 2018). Se debe tener en cuenta que este filtro no separa aceite e hidrocarburos emulsionados. Los filtros coalescentes utilizados están fabricados principalmente con material plástico y con una gran superficie de roce entre el agua y este.

4.8.1 Filtros coalescentes con diseño lamelar

Su diseño lamelar está constituido por una variedad de tubos de forma hexagonal independientes de longitud definida, los cuales forman zonas de flujo laminar ideales para desarrollar la decantación de las partículas. El agua residual entra, a una velocidad predeterminada, por la parte inferior de los tubos ascendiendo, a través de ellos hasta la parte

superior del filtro, en el transcurso de dicho recorrido muchas partículas pequeñas se aglomeran formando otras de mayor tamaño generando una aglomeración en la parte superior del agua. Uno de los principales materiales utilizados en este filtro son los termoplásticos con alta resistencia a temperaturas, ya que estos son resistentes a la corrosión.

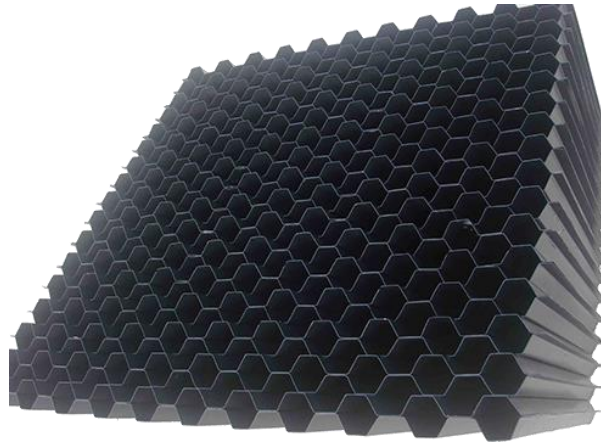


Figura 5. Estructura interna de un filtro de diseño lamelar.

Fuente: Figura tomada de (Guillmore, 2017)

El proceso consta de dos partes, la primera parte es donde se realiza la decantación de sólidos suspendidos (SST) y aceites con el agua gracias a la diferencia de densidades, esta parte es gravitacional, después de este proceso el fluido pasa por un filtro coalescente con diseño lamelar que está diseñado para aglomerar las partículas pequeñas aceitosas en otras mayores para aumentar su volumen y por ende su capacidad de flotación así clarificado el agua y expulsada del proceso.(Vaca, 2013)

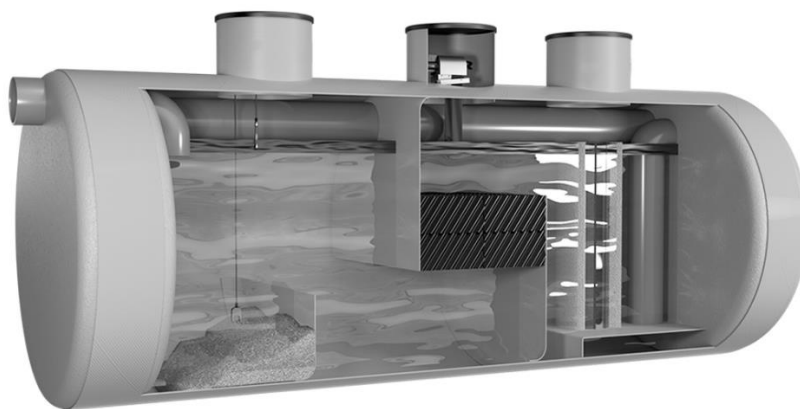


Figura 6. Diseño del tanque de separación por filtro coalescente

Fuente: Figura tomada de (Vaca, 2013)

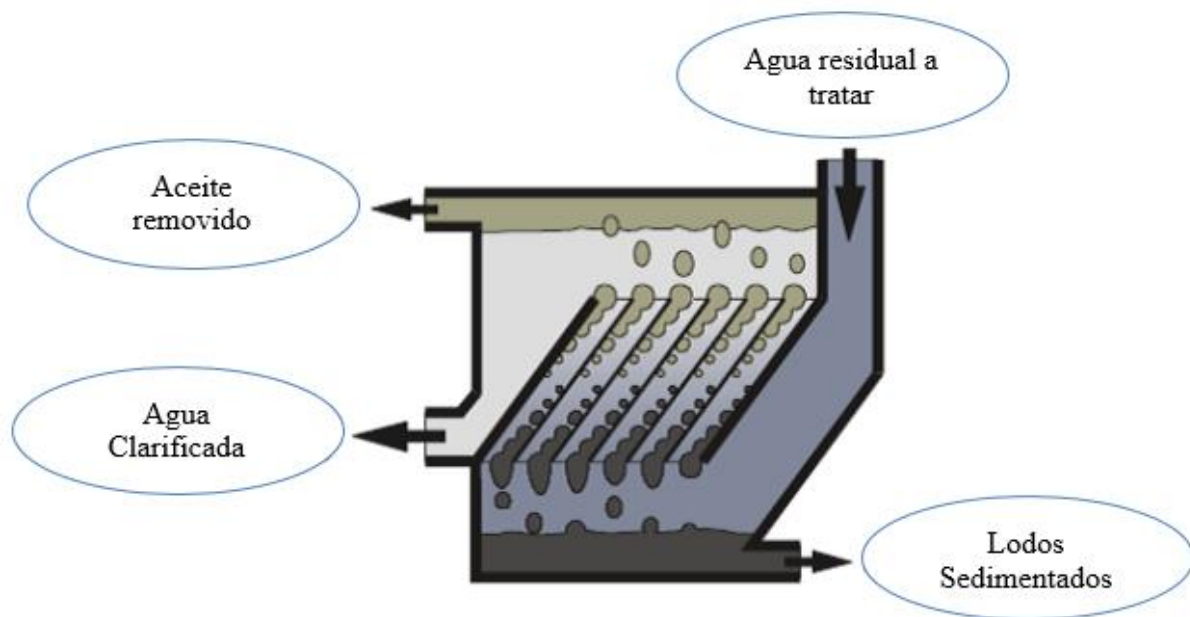


Figura 7. Funcionamiento de un Filtro lamelar.

Fuente: Figura tomada de (Vaca, 2013)

4.9 ELECTROCOAGULACIÓN

La electrocoagulación, aunque no es una tecnología nueva, ha sido poco estudiada y desarrollada, requiere de equipos simples y de fácil operación, no necesita de almacenamiento de agua y uso de productos químicos, tiene alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes, el proceso puede funcionar a temperatura ambiente y presión ambiental, es una tecnología respetuosa con el medio ambiente debido a que solamente usa electricidad.

La electrocoagulación es un proceso electroquímico, en el cual desestabiliza las partículas contaminantes y aceitosas que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales. Mediante este proceso se puede separar simultáneamente metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos emulsionados y otros muchos contaminantes del agua utilizando la electricidad en lugar de reactivos químicos. Los lodos producidos durante el tratamiento se separan posteriormente por filtración, decantación o flotación (Barboza, 2011).

El proceso de electrocoagulación consiste en suministrar corriente eléctrica continua a través de electrodos que están conectados a una fuente de corriente y al mismo tiempo están sumergidos en el agua residual. Debido a esto se producen desprendimiento de Hidrógeno y

Oxígeno gaseosos en sus respectivos electrodos, en el proceso los electrodos que más se utilizan por sus características son el hierro (Fe) y el aluminio (Al).

La electrocoagulación ha sido también utilizada en el tratamiento de las aguas residuales de la industria alimentaria mostrando remociones altas de grasas (Restrepo et al., 2015).

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, que desestabilizan las formas en las que los contaminantes se encuentran presentes, bien sean suspendidas o emulsificadas. Es así que los contaminantes presentes en el medio acuoso forman agregados, produciendo partículas sólidas que son menos coloidales y menos emulsificadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación sedimentación o filtración (Martinez Navarro, 2010).

Durante la electrólisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se pueden describir de la siguiente manera: En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse. Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han neutralizado (Terán, 2012).

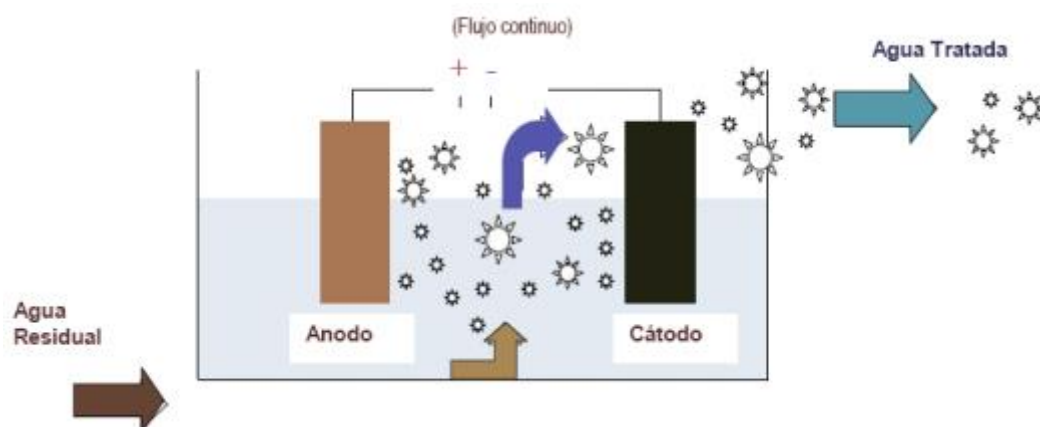


Figura 8. Diseño de un proceso de electrocoagulación

Fuente: Figura tomada de (Terán, 2012)

4.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los métodos

| Método | Ventajas | Desventajas | Referencia |
|---|---|--|---|
| Trampa de aceite | <ul style="list-style-type: none"> • Su diseño no tiene partes mecánicas • El costo de éstas es bajo comparado con el de otros tratamientos • Es de fácil mantenimiento, no requiere personal técnico para su manejo. • Reduce mantenimiento de tuberías • Separa grasas y sólidos | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo porcentaje de remoción. | (Sanchez, 2011) |
| Tratamiento por coagulación-floculación en tanques de sedimentación | <ul style="list-style-type: none"> • El coagulante remueve materia orgánica e inorgánica, que es de fácil sedimentación. • Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos • El floculante aumenta la velocidad de decantación y mayor depuración de sólidos en el agua. • Se puede tratar aguas con altas concentraciones de contaminación. | <ul style="list-style-type: none"> • El coagulante produce degradación del agua. • Su costo puede aumentar si los químicos no son trabajados adecuadamente • Producción de lodos que deben ser tratados nuevamente. • Necesita de planes de manejo de lodos. • Cuando se maneja bajas concentraciones de contaminación, su eficiencia tiende a disminuir, necesitando más | (Ojeda, 2012) (Dodane & Magalie, 2011) |

| | | | |
|--|--|---|------------------------|
| | | <p>adición de químico y aumentando su costo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es necesario remover los lodos de manera frecuente | |
| <p>Sistema de flotación por aire disuelto (FAD).</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Remoción de grasas, sólidos livianos y pesados en un solo proceso • Periodos cortos de retención • La presencia de oxígeno disuelto para el tratamiento hace que disminuya la presencia de olores. • Los lodos generados son más pesados que una sedimentación por gravedad | <ul style="list-style-type: none"> • Los costos de operación pueden ser más altos por el consumo de energía, productos químicos y mantenimiento. • La operación del sistema puede ser complicada. (Aguilar, 2014) | <p>(Aguilar, 2014)</p> |
| <p>Tanque de separación por filtro coalescente.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento de caudales superiores a los tradicionales, dado que se establece un caudal laminar mediante la división del espacio en elementos parciales. • Una distribución uniforme de agua cargada en toda la superficie del decantador. • Eficiencia superior en la clarificación ya que se reduce la trayectoria en el deslizamiento de las | <ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción por materiales, constante mantenimiento por la limpieza diaria de los filtros. | <p>(Vaca, 2013)</p> |

| | | | |
|---------------------|---|--|----------------|
| | <p>partículas a lo largo de las paredes inclinadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un coste de inversión inferior al tradicional (menores dimensiones y exigencias de área) debido a la mayor capacidad de carga. • Fácil mantenimiento | | |
| Electrocoagulación. | <ul style="list-style-type: none"> • Producción de lodos más compactos. • Facilidad de remover los contaminantes. • Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes. • Los costos de operación son menores. • Fácil operación. • El uso de electrodos de sacrificio permite extender la vida útil de los electrodos tanto del ánodo como del cátodo en comparación con un sistema que no cuente con estos. • Depuración de contaminantes en agua | <ul style="list-style-type: none"> • A su vez el uso de electrodos de sacrificio implica la reposición constante de estos. • Los lodos aumentan sus concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo | (Arango, 2014) |

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Tabla 5. Porcentajes de remoción de aceite en cada método.

| Método | | Contenido de aceite antes del tratamiento (mg/L) | Contenido de aceite después del tratamiento (mg/L) | Porcentaje de remoción | Referencia |
|---|------------------------------------|--|--|------------------------|---------------------------|
| Trampa de aceite | | 3580 | 749 | 79 % | (Leitón, 2017) |
| Tratamiento por coagulación-floculación en tanques de sedimentación | | 228,57 | 16,01 | 93 % | (Leitón, 2017) |
| Sistema de flotación por aire disuelto (FAD). | Presión de 50 psi | 692,23 | 85,14 | 87,7% | (Aguilar, 2014) |
| | Presión de 60 psi | 692,23 | 114,91 | 83,4% | |
| Tanque de separación por filtro coalescente. | | 2304 | 79,95 | 96,53 % | (Jaimés & Pico, 2010) |
| Electrocoagulación. | Electrodo de sacrificio (Hierro) | 1264 | 66 | 94,77% | (Mejía & Hernández, 2019) |
| | Electrodo de sacrificio (Aluminio) | 1264 | 103,9 | 91,78% | |

- Los métodos, Trampas de Aceite y Tratamiento por Coagulación-Floculación en Tanques de Sedimentación, son métodos muy similares con la diferencia de que el método de Trampa de Aceite no cuenta con la ayuda de químicos para su proceso, así aumentando el tiempo del tratamiento.

Haciendo comparación entre los porcentajes de remoción de la tabla 5, tenemos un 79% para las trampas de remoción y un 93% para el tratamiento con coagulantes y floculantes, esto nos da entender que aparte de que el proceso con químicos es más rápido también es más eficiente frente a la remoción de aceites en agua.

- El tratamiento por coagulación-floculación en tanques de sedimentación presenta una remoción de aceites superior al 90% haciendo su proceso aceptable, además tiene la ventaja que pueden remover bacterias, virus y organismos patógenos gracias a la adición de químicos y ser usado para tratamiento de altas concentraciones de contaminación, pero con la desventaja de degradación del agua y remoción constante de lodos.
- Los resultados con respecto al sistema de flotación por aire disuelto (FAD), indican que el porcentaje de remoción de aceites varía de acuerdo al nivel de presión, a una presión de 50 psi se logra un punto máximo en remoción del 87,7%, pero si lo comparamos con una presión de 60 psi, se da disminución aproximadamente del 4% (tabla 5.), esto se debe a que al aumentar la presión en la cámara de presurización se aumenta los niveles de saturación de aire en el agua, dando producción excesiva de burbujas, entonces en el momento de ser liberadas en el tanque de flotación producen un efecto de turbulencia y por consecuencia la ruptura de los aglomerados presentes en dicha celda. Este método aparte de remover aceites también es efectivo para remover sólidos livianos y pesados en un solo proceso, además que su tiempo de trabajo es corto y es un proceso que al trabajar con tanque de presurización oxigena el agua, pero aumenta el costo de su operación debido al gasto energético producido por el tanque.
- Al realizar una comparación en los porcentajes de remoción donde tenemos como mejor resultado el método tanque de separación por filtro coalescente con un 96,55% y el de menor porcentaje el de trampas de grasa con un porcentaje del 79%, a pesar de que este último cuenta con grandes ventajas como un bajo costo de instalación y fácil

mantenimiento, el índice de eliminación de aceites es muy bajo a comparación de los otros métodos.

- En el proceso de electrocoagulación se trabajó bajo dos materiales de electrodos de sacrificio, hierro y aluminio, los cuales presentaron 94,77% y 91,78% (tabla 5) de remoción de aceite en agua respectivamente, dando como mejor resultado usar electrodo de material de hierro, resultado favorable debido a que el costo del hierro es más económico que el del aluminio, además no solo elimina aceite sino que también es efectivo en depuración de contaminantes en agua, pero como consecuencia, los lodos sedimentados presentan un aumento en la concentración de metales debido a los electrodos de sacrificio, esto no afecta en el tratamiento del agua pero si conlleva a una problemática en el tratamiento de lodos.
- El tanque de separación por filtro coalescente es el método con menos restricciones de trabajo y no necesita ayuda mecánica o química, solo tiene como problemática la obstrucción del filtro por materiales sólidos, pero este no representa un gran problema ya que se pueden evitar añadiendo mallas de contención al inicio del proceso, además su mantenimiento es sencillo.

6. CONCLUSIONES

- El mejor método para remoción de aceite en aguas es el tanque de separación por filtro coalescente gracias a las ventajas que presenta y su porcentaje de remoción haciendo este método más factible y que logra cumplir los estándares de saneamiento ambiental.
- Como segundas opciones se tienen los procesos de electrocoagulación y el tratamiento por coagulación-floculación en tanques de sedimentación que ofrece remociones muy por encima del 90% de aceite, lo cual hace de estos métodos una alternativa para el tratamiento de aguas residuales.
- A pesar que los procesos de electrocoagulación y el tratamiento por coagulación-floculación en tanques de sedimentación puedan remover diferentes contaminantes tiene un costo mas elevado que el tanque de separación por filtro debido a su tratamiento adicional de lodos, aumentando el costo de mantenimiento.
- La mayoría de los procesos analizado tienen un porcentaje de remoción alto, los cuales pueden ser usados dependiendo del tipo de tratamiento que se desea realizar y son de fácil asequibilidad.
- Los procesos de remoción de aceites son importantes en las plantas de tratamiento, dado que esta sección elimina sustancias oleosas que obstruyen las tuberías de la planta y alterando el funcionamiento de la misma.
- Al disminuir el drenaje de aguas contaminadas no solo con sustancias oleosas si no también con diferentes componentes residuales, se puede disminuir la contaminación en cuerpos de agua así evitando catástrofes ambientales los cuales son de gran impacto al ecosistema y salud humana.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

1. Se le hace un llamado a la comunidad para evitar el drenaje de sustancias aceitosas a las alcantarillas, estas se pueden llevar a puntos de recolección donde podrán ser tratadas.
2. Para futuros trabajos, se recomienda investigar si se puede realizar adaptaciones de las plantas, como una fusión de diferentes métodos de remoción de aceites para así aumentar su eficiencia.
3. Buscar alternativa para la reutilización de aceites removidos y desechos procedentes del tratamiento de aguas residuales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIA

- Aguilar, D. (2014). *Diseño de un sistema de Flotacion por Aire Disuelto (F.A.D) para mejorar la calidad del agua residual de la industria láctea El Ordeño y La Corpabe*. Instituto Politécnico Nacional.
- Arango, Á. (2014). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación: desarrollo y potencial de aplicación. *Journal of Engineering and Technology*, 3(1), 78–98.
- Argueta, E. A. (2011). *Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales , ventajas y desventajas*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Barboza, G. I. (2011). *Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá – Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación*. Universidad nacional de ingeniería.
- Bokova, I. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. *Informe Mundial de Las Naciones Unidas Sobre El Desarrollo de Los Recursos Hídricos 2017*, 3, 123.
- Chávez, I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Dominio de Las Ciencias*, 3(1), 2477–8818.
- Chinchilla, M. (2015). *Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- College, W. (2015). *Raymond chang* (10 Edicion, Vol. 3, Issue 2).
- Consuelo, L., Saldarriaga, G., García, M., & Wilches, H. (2010). *Calidad del agua superficial en Colombia*.
- DECRETO 475. (1998). *Normas técnicas de calidad del agua potable*. (Vol. 1998, Issue 43).
- Díaz, W. (2018). *Selección de los sistemas de filtración en estaciones city gate wilmer*. Universidad industrial de santander facultad.
- Dodane, P.-H., & Magalie, B. (2011). *Tanques de Sedimentación y Espesamiento*.
- Eduardo, L., & Prieto, P. (2001). *Tratamientos de aguas residuales municipales y su impacto*

ambiental sobre un ecosistema. *Tecnura*.

Flores, R., & Ortiz, H. (n.d.). Separación de Materiales Oleosos en Aguas Residuales Radiactivas por Flotación-Cinética de Flotación. *Energía Nuclear y Seguridad Radiológica: Nuevos Retos y Perspectivas*.

Forero, & Diaz. (2012). *Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales*.

Galeano, Lady, & Ibarra, V. (2016). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Velez-Santander*. Universidad Católica de Colombia.

González Canal, I., & González Ubierna, J. A. (2015). Aceites usados de cocina. problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. *Aguas Residuales*.

GRUPO TAR. (2013). Tratamiento de potabilización del agua. *Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla*.

Guillmore, M. (2017). Criterios de diseño de los módulos lamelares. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Holtrop, J. (2016). *Cut Through the FOG para proteger la propiedad, la calidad del agua y la salud pública*.

Jaimes, D. M., & Pico, M. I. (2010). *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- aplicación campo Colorado*. Universidad Industrial de Santander.

Janet, M., & Adriana, G. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*.

Lahera, V. (2010). *Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales*.

Leitón, L. M. (2017). *Proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de sodas - comedor del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central*. Tecnológico de Costa Rica.

- Lizarazo, J., & Orjuela, M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- López, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactacea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Lozano, W. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Universidad Piloto de Colombia.
- Maria, R., & Graterol, N. (n.d.). Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas en una empresa manufacturera. *Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado*.
- Mario, A., & Ennis, B. (2009). *Sistema de flotación por aire disuelto para el tratamiento de aguas residuales industriales*. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Martinez Navarro, F. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales Mediante Electrocoagulación y Coagulación Convencional* (U. de C.- La Mancha (ed.)).
- Mejía, S., & Hernandez, J. (2019). *Evaluación del sistema de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio*. Fundación Universidad de América.
- Ojeda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del TROPAEOLUM TUBEROSUM, en el tratamiento del agua cruda de la planta de puengasí de la epmaps epmaps*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito.
- ONU-DAES. (2015). *Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2015. Calidad del agua*.
- Orellana, J. A. (2016). Tratamiento De Las Aguas. *Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO*, 1–123.
- Parra, A., & Castillo, D. (2017). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado - 2014-2017*.
- Ramallo, R. (2011). Pretratamientos y Tratamientos Primarios. *Chan, B. K. C.*, 6(6), 89.
- Re. 0631. (2015). *Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos*

puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Re. 883. (2018). *Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones.*

Restrepo, A., Arango, Á., & Garcés, L. (2015). *La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.*

Rojas, R. (2013). Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente División de Salud y Ambiente, 1(3), 39–51.*

Sanchez, J. (2011). *El uso de trampas de grasa para disminuir la carga contaminante de grasas y aceites emitida a la red municipal de drenaje.* Instituto Politecnico Nacional.

Secretaría de Salud, D. (2014). *Plan de saneamiento basico.*

Terán, E. X. J. (2012). *Diseño Y Construcción De Un Reactor De Electrocoagulación Para El Estudio De Tratamiento De Agua Residual De Tintura Y Acabado Textil.* Universidad Técnica del Norte.

Tous, G., & Castro, I. (2011). Panorama de la contaminación del Caribe colombiano. *Panorama de La Contaminación Del Caribe Colombiano.*

Truque, P. (2015). *Armonizacion de los estandares de agua potable en las americas.*

Vaca, J. (2013). *Análisis y descripción de un separador de placas coalescentes, para reemplazar y reubicar la piscina api del terminal barbasquillo de ep-petroecuador 2013.* Universidad Tecnológica Equinoccial.