

**ANALISIS DE TECNOLOGIAS COMPACTAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES NO DOMESTICAS EN EMPRESAS CON POCA DISPONIBILIDAD DE
ESPACIO**

Alejandro Varón Escudero

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

MANIZALES

2019

**ANALISIS DE TECNOLOGIAS COMPACTAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES NO DOMESTICAS EN EMPRESAS CON POCA DISPONIBILIDAD DE
ESPACIO**

Alejandro Varón escudero

TUTOR:

Javier Mauricio Naranjo Vasco

Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES

INGENIERIA AMBIENTAL

MANIZALES

2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo general	12
3.2. Objetivos específicos.....	12
4. METODOLOGIA	13
4.1. Materiales	13
4.2. Procedimientos	13
4.2.1. Revisión de la literatura.....	13
4.2.2. Análisis	14
4.2.3. Generación de matrices	14
5. RESULTADOS.....	16
5.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
NO DOMESTICAS.....	16
5.1.1. Pretratamiento.....	17
5.1.2. Tratamiento primario.....	18
5.1.3. Tratamiento secundario.....	18
5.1.4. Tratamiento terciario.....	19

6. SISTEMAS COMPACTOS DE TRATAMIENTO.....	20
6.1. Flotación por aire disuelto.....	20
6.2. Oxidación avanzada.....	23
6.3. Electrocoagulación.....	27
6.4. Intercambio ionico.....	30
6.5. Ultrafiltración.....	33
6.6. Osmosis inversa.....	38
7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS TECNOLOGIAS ANALISADAS PARA EL TRATAMEINTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS.....	41
8. METODOS DE ANALISISDE DECISION CON CRITERIOS MULTIPLES (MADCM) EN LA ELECCION DE TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS.....	44
8.1. Factores de decisión para elegir el mejor Sistema de tratamiento.....	45
8.2. Evaluación de los factores de decisión.....	46
8.3. Peso relativo.....	47
9. ANALISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS AEROBIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.....	49
10. CONCLUSIONES	51
11. BIBLIOGRAFIAS.....	53

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DAF.....	21
Tabla 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE AIRE DISUELTO.....	22
Tabla 3. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE OXIDACION AVANZADA.....	25
Tabla 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OXIDACIÓN AVANZADA.....	26
Tabla 5. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION.....	28
Tabla 6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION.....	29
Tabla 7. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	31
Tabla 8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL INTERCAMBIO IÓNICO.....	32
Tabla 9. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE ULTRAFILTRACIÓN.....	36
Tabla 10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ULTRAFILTRACIÓN.....	37

Tabla 11. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA.....	40
Tabla 12. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA.....	40
Tabla 13. PORCENTAJES DE REMOCION Y AREAS REQUERIDAS.....	43
Tabla 14. PESOS RELATIVOS DE LOS FACTORES ESCOGIDOS.....	48
Tabla 15. MATRIZ DE EVALUACION DE TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOSMESTICAS.....	50

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1: REJILLAS DE DESBASTE.....	17
FIGURA 2: TRAMPA DE GRASAS.....	18
FIGURA 3: ESQUEMA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	19
FIGURA 4: ESQUEMA SISTEMA DE AIRE DISUELTO.....	21
FIGURA 5: OXIDACION AVANZADA CON OZONO.....	25
FIGURA 6: REACCION DEL PEROXIDO PARA GENERAR OH.....	26
FIGURA 7. ELECTROCOAGULACION POR ANODO DE ALUMINIO Y CATODO DE HIERRO.....	28
FIGURA 8. PROCESO DE INTERCAMBIO IONICO.....	31
FIGURA 9. MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN.....	33
FIGURA 10. MEMBRANA TUBULAR.....	34
FIGURA 11. MEMBRANA DE FIBRA HUECA.....	35
FIGURA 12. MEMBRANA DE LÁMINA PLANA.....	36
FIGURA 13. PRINCIPIO DE OSMOSIS INVERSA.....	38
FIGURA 14. SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA.....	39

RESUMEN

Este trabajo se basa en la revisión de tema desde la literatura de las tecnologías compactas para el tratamiento de aguas residuales no domésticas, que requieran poco espacio de instalación y operación. Se elaborara una matriz de tecnologías a partir de datos obtenidos de la literatura para la elección de sistemas de tratamiento compactos para el sector de la industria metalmecánica, Especialmente para aguas provenientes de procesos de bonderizado, las cuales son vertidas directamente al alcantarillado y a cuerpos de agua de la ciudad. Muchas de estas empresas del sector metalmecánico cuentan con poca disponibilidad de espacio para la instalación de sistemas para el tratamiento de las aguas residuales no domésticas.

Por tal razón en este trabajo se analizarán los sistemas de tratamiento de poco espacio de montaje y que se adapte a las condiciones de las aguas a tratar dentro de la industria, identificando principios fisicoquímicos, espacio necesario, costos de instalación y operación, entre otros factores. Con la información anterior comparar las ventajas y desventajas de cada sistema de tratamiento investigado y así facilitar la toma de decisiones dentro de la empresa por parte de las partes interesadas.

ABSTRACT

This work is based on the review of topic from the literature of the compact technologies for the treatment of not domestic wastewater, which need little space of installation and operation. A counterfoil of technologies was elaborated from information obtained of the literature for the choice of compact systems of treatment for the sector of the industry Metalworking, especially for waters from processes of bonderizado, which are spilt directly to the sewer and to water bodies of the city. Many of these companies of the sector Metalworking possess few availability of space for the system installation for the treatment of the not domestic wastewater.

For such a reason in this work there will analyze the systems of treatment of little space of assembly and that adapts to the conditions of the waters to treating inside the industry, identifying physicochemical beginning, necessary space, costs of installation and operation, between other factors. With the previous information to compare, the advantages and disadvantages of every system of investigated and like that treatment to facilitate the capture of decisions inside the company on the part of the interested parts.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA O DIAGNOSTICO

Una de las principales problemáticas de las industrias de la ciudad de Manizales y en general de la industria es la necesidad que tienen de tratar sus aguas residuales no domésticas que se producen debido a sus actividades económicas y al procesamiento de materias primas para convertirlas en objetos de uso diario de los hogares en Colombia y a nivel mundial. Por esta razón las empresas generan grandes volúmenes de aguas contaminadas que son vertidas a los alcantarillados o a los cuerpos de agua superficial, y de allí nace la necesidad de instalar plantas de tratamiento de aguas residuales para dar cumplimiento a la legislación ambiental de Colombia en temas de vertimientos de aguas residuales.

Para estos temas normativos se aplica la resolución 0631 de 2015 la cual nos habla de los parámetros máximos permitidos para realizar vertimientos a cuerpos de agua o alcantarillado público, y toda empresa que se encuentre en el territorio nacional se debe acoger a dar cumplimiento a esta resolución y así evitar multas por daños ambientales causados por vertimientos indiscriminados de aguas contaminadas y sin tratamiento.

Uno de los principales problemas que se tiene en la industria para el tratamiento de las aguas residuales es la poca disponibilidad de espacio con el que cuentan algunas empresas y por esto no se pueden realizar tratamientos convencionales óptimos para el tratamiento de sus aguas residuales, por lo que se ven obligadas a buscar tratamientos compactos para dar cumplimiento a la normativa colombiana en temas de vertimientos.

2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se realiza por la necesidad de tener información sobre sistemas de tratamiento compactos para el tratamiento de aguas residuales, la cual es muy dispersa y no se cuentan con muchos estudios que comparen este tipo de tecnologías para dar opciones a la industria de escoger un tratamiento para sus aguas residuales. Es por esto que en este trabajo se propone una revisión de tema en la cual se identifiquen y analicen diversas tecnologías compactas para el tratamiento de aguas residuales no domésticas. Adicionalmente se compararán sus ventajas y desventajas teniendo en cuenta diversos parámetros, y como marco de referencia se tendrán un caso de estudio que son las aguas residuales del proceso de bonderizado de la industria metalmecánica. Desde este punto de vista se determinaran unos criterios específicos para elegir una tecnología que dé solución a este problema particular, utilizando una metodología de selección de tecnología

Basados en esto se pretende con este trabajo indagar la mayor cantidad de información sobre posibles tecnologías compactas para el tratamiento de las aguas residuales que provienen de este proceso, buscando con ello obtener la mejor tecnología, tanto en costos, área requerida para su instalación y eficiencia de remoción de cargas contaminantes de las aguas de este proceso, todo esto se realizara buscando en la literatura las posibilidades que se brindan a nivel mundial para dichos tratamiento y así dar cumplimiento a la legislación vigente en Colombia para temas de vertimientos de tipo industrial.

Y así poder entregar una herramienta para la selección adecuada de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales industriales de la empresa, haciendo más óptimo el proceso para elegir dichas tecnologías.

3. OBEJTIVOS

3.1. Objetivo general

Comparar e indagar desde la literatura las posibles soluciones o tratamientos para las aguas residuales de las empresas del sector metalmecánico y de esta manera dar cumplimiento a la resolución 0631 de 2015.

3.2. Objetivos específicos

- Conocer los principios de operación de cada una de las tecnologías analizadas desde la literatura.
- Identificar las ventajas y desventajas de cada sistema de tratamiento, analizado desde la literatura.
- Seleccionar las mejores tecnologías, que se adapten a los requerimientos de un caso de estudio específico.

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIALES

- Artículos científicos
- Revistas
- Libros de tratamiento de aguas
- Tesis de grado
- Empresas proveedoras de tecnologías compactas para tratamiento de aguas residuales

4.2. PROCEDIMIENTOS

4.2.1. Revisión de la literatura.

Se realizó la revisión de la literatura para las siguientes tecnologías compactas de tratamiento de aguas residuales industriales:

- Oxidación avanzada.
- Electrocoagulación.
- Flotación por aire disuelto (DAF).
- Intercambio iónico.
- Filtración de arena y carbón.
- Ultra filtración.

4.2.2. Análisis.

La revisión literaria de las tecnologías nos permitió analizar e identificar procesos físicos y químicos de operación de cada una de las tecnologías, funcionamiento básico, ventajas y desventajas, información relativa a porcentajes de remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales industriales, y con ello tener un análisis profundo y veraz de ellas.

4.2.3. Generación de matrices

Con la información reunida en la consulta y análisis de las tecnologías para tratamiento de aguas residuales no domésticas, se realizaron tablas comparativas para estas tecnologías, dentro de estas tablas se destaca la siguiente información: porcentajes de remoción de cargas contaminantes de los parámetros más críticos, ventajas y desventajas, y disponibilidad de espacio para la instalación.

Con la generación de esta matriz de tecnologías se buscan realizar la elección de la tecnología que más se acomode a las características de las aguas residuales no domésticas de las empresas del sector metalmeccánico. Para dichas matrices se tomó como criterios de evaluación los siguientes parámetros:

- Espacio requerido para su construcción
- Costo de la instalación
- Calidad del efluente
- Costos de mantenimientos
- Generación de lodos
- Costos de operación
- Mano de obra requerida

- Impacto social
- Afectación en el proceso productivo de la empresa
- Cumplimiento de la resolución 0631

Y seguido a esto se les brindo un peso respectivo de 3 a 5 esto dependiendo de su importancia para el proceso de elección por parte de la empresa, siendo 5 los más relevantes y 3 los menos relevantes durante el proceso de elección, instalación y puesta en marcha de la planta compacta de tratamiento. Dichas matrices se basaron en estudios de la CAR Cundinamarca donde se usan las matrices de decisión por criterios múltiples para la elección de plantas de tratamiento de aguas residuales.

5. RESULTADOS

5.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS

Las aguas residuales no domesticas poseen características complejas para su tratamiento, dentro de las que se encuentran altas concentraciones de solidos suspendidos, demanda química de oxigeno (DQO), grasas y aceites, hidrocarburos, y gran variedad de metales pesados. Todos estos contaminantes se incorporan al agua debido a la interacción de ella con diferentes materias primas en los procesos industriales y esto hace que tengan contaminantes tan variables y en tan altas concentraciones y por ello ser aguas de difícil tratabilidad. (Belsona. 2010)

El tratamiento de aguas residuales es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, que tiene como fin eliminar toda la cantidad de contaminantes presentes en las aguas que son usadas por el ser humano, tanto para suplir las necesidades diarias, como para la producción de productos que satisfacen el ocio y demás necesidades del hombre a costa de procesar materias primas para obtener productos de uso diario como es el caso de los electrodomésticos.

El tratamiento de aguas residuales está dividido en varias etapas de tratamiento entre las que podemos encontrar:

5.1.1. PRETRATAMIENTO

Las aguas residuales urbanas antes de someterse a un tratamiento biológico o químico, se someten a un pretratamiento que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento (ver figura 3).

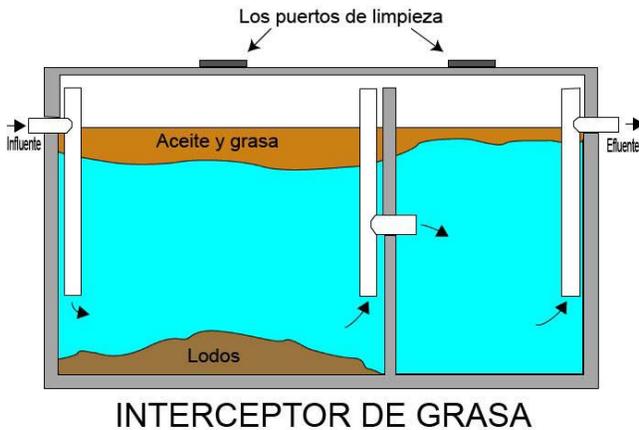
El pretratamiento es necesario e indispensable para el correcto tratamiento de las aguas residuales, en esta etapa del proceso se eliminan sólidos grandes, grasas, aceites y arenas que si no son eliminadas antes de entrar a un tratamiento biológico el efluente final estaría por debajo de la calidad esperada. Por lo general para esta etapa del proceso se usan rejillas de desbaste (ver figura 1), desarenadores, trapa de grasas (Ver figura 2). (Belsona. 2010)

FIGURA 1: REJILLAS DE DESBASTE.



Tomado de: UNIVERSIDADE DA CORUÑA

FIGURA 2: TRAMPA DE GRASAS.



Tomada de: biodyne-bogota

5.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual (ver figura 3), entre los que podemos encontrar arena, grava, palos, hojas, grasas y aceites, etc. Los principales procesos fisicoquímicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración. (Belsona. 2010)

5.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario de depuración constituye una serie de importantes procesos de naturaleza biológica de tratamiento de las aguas residuales que tienen en común la utilización de microorganismos para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable (ver figura 3), tanto coloidal como disuelta, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P).

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P. (Belsona. 2010)

5.1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios (ver figura 3), como, por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno.

Estos procesos son de naturaleza biológica o físico química, siendo el proceso unitario más empleado el tratamiento físico-químico. Este consta de una coagulación – floculación y una decantación.

Otros procesos empleados como tratamientos terciarios son las resinas de intercambios de iones, la adsorción en carbón activo, la ultrafiltración, la ósmosis inversa, el electro desinfección, las membranas cerámicas, etc. (Belsona. 2010)



FIGURA 3: ESQUEMA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

6. SISTEMAS COMPACTOS DE TRATAMIENTO

Los sistemas compactos de tratamiento son sistemas como su nombre lo indica de poco espacio, por ello gran parte de estos sistemas tienen todos los procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales ya incorporados en su sistema pero de manera más compacta y con la misma funcionalidad.

6.1. FLOTACION POR AIRE DISUELTO (DAF)

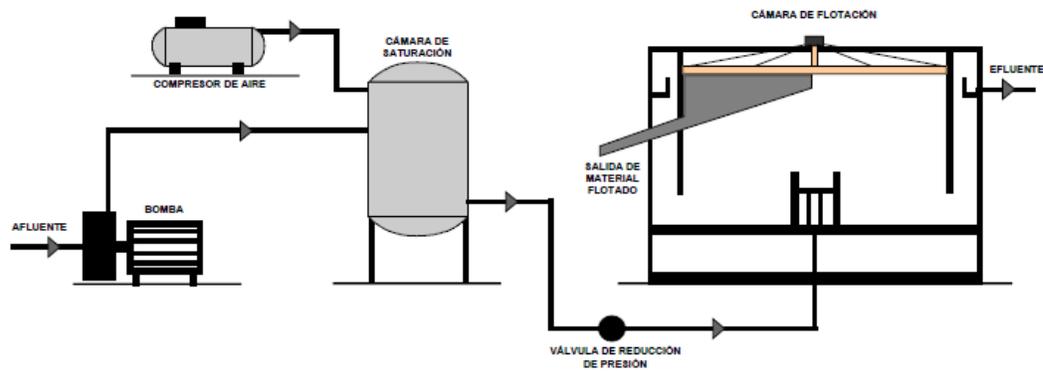
La flotación consiste en unir las burbujas de aire al material suspendido, causando una reducción neta de peso específico. Las burbujas de tamaño micrométrico se producen por disolución de aire en el agua residual a presiones elevadas seguida por su posterior liberación a la presión atmosférica. Cuando la presión se reduce a las condiciones atmosféricas, el aire disuelto, presente en exceso hasta la saturación, es liberado en forma de burbujas extremadamente finas que se adhieren a las materias en suspensión. (SIGMA, 2016)

El proceso DAF consiste en la creación de micro burbujas (30 a 120 μm de diámetro) de aire en el seno del agua residual, las cuales se unen a las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar. (SIGMA, 2016)

Los sólidos, grasas y flóculos flotan hacia la parte superior de la celda de flotación por aire disuelto y se eliminan mediante un dispositivo de barrido (Ver figura 4). Para el efecto de flotación, se utiliza un sistema de presurización de agua recirculada. (Bolaño Alberto.2009)

Dicho sistema de tratamiento para su instalación ocupa un área aproximada de 24 metros cuadrados para su óptima operación, para dar tratamiento a un caudal aproximado de 5000 litros por hora. Con un costo aproximado de \$ 80.000.000, (empresa hidrosfera de occidente).

FIGURA 4: ESQUEMA SISTEMA DE AIRE DISUELTO.



Fuente: Suarez López Joaquín, Jácome Burgos Alfredo, (2014), Inditex, FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO.

Tabla 1. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DAF

PARAMETRO	% REMOCIÓN
SOLIDOS	77%
GRASAS Y ACEITES	90%
HIDROCARBUROS	80%
DQO	65%
TURBIEDAD	72%

Fuente: Rojas, Carlos, Rincón, Nancy, Díaz, Altamira, Colina, Gilberto, Behling, Elisabeth, Chacín, Elsa, & Fernández, Nola. (2008). Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 31(1), 50-57. Recuperado en 28 de diciembre de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000100007&lng=es&tlng=es.

Tabla 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE AIRE DISUELTO.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Remoción superior a 90% de componentes de grasas y aceites	Altos costos de instalación
Alta remoción de contaminantes en aguas residuales no domesticas de la industria de la metalurgia, petróleo y producción de aceites.	Costos elevados de operación y mantenimiento, esto debido a los altos consumos de energía eléctrica
Ahorro de insumos químicos y mano de obra en la operación de la PTAR.	Gran cantidad de espacio para su instalación
	Alta producción de lodos residuales.

Autoría propia basado en los artículos: (Rojas, Carlos. 2008), (Díaz Miguel. 2018), (Riera María. 2015).

6.2. OXIDACIÓN AVANZADA

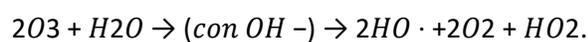
La oxidación avanzada es un proceso donde se utilizan radicales hidroxilo (radicales OH) como oxidante. La característica fundamental de los radicales es la existencia de un electrón libre único en lugar de una pareja de electrones. Esto se expresa con un punto en la fórmula ($\cdot\text{OH}$). Este electrón confiere al radical OH su gran reactividad. Los radicales OH son agentes oxidantes muy potentes que son capaces de oxidar casi cualquier sustancia orgánica. (Gunt Hamburg, 2015)

Este tipo de tratamiento es uno de los más compactos del mercado por lo que para el tratamiento de un caudal de 2000 litros por hora se utiliza aproximadamente 8 metros cuadrados de área para su operación. Con un costo de \$ 60.000.000. (NyF De Colombia. 2017)

Estos procesos son particularmente apropiados para aguas residuales que contienen recalcitrantes, tóxicos o materiales no-biodegradables. Los procesos ofrecen algunas ventajas sobre los procesos físicos y biológicos. (Lenntech BV, 1998-2018)

Dentro de los diferentes tipos de oxidantes utilizados para tratar las aguas residuales no domésticas, podemos encontrar:

El ozono: El ozono es uno de los agentes más oxidantes para la eliminación de sustancias químicas además del oxígeno puro y el aire, superando al cloro; por ello, se ha usado durante mucho tiempo como oxidante y desinfectante para el tratamiento de aguas. Como oxidante, el ozono es muy selectivo y ataca principalmente a grupos funcionales ricos en electrones. Cuando sus reacciones en solución acuosa implican la formación de radicales hidroxilo.



El proceso de la ozonización se realiza después de un paso por filtro de arena para eliminar algunos componentes de las aguas y así pasar a e tanque de contacto donde se le adiciona el ozono y posterior a este pasa por otro filtro para eliminar las partículas sobrantes luego de la oxidación. (Ver figura 5). (Lenntech BV, 1998-2018)

Peróxido de hidrogeno: El peróxido de hidrogeno se ha utilizado durante varios años para el tratamiento de efluentes industriales y de aguas potables, principalmente con el objetivo de remover materia orgánica. El peróxido de hidrogeno es un oxidante versátil, superior al cloro, dióxido de cloro y permanganato de potasio. Una forma de producir radicales OH es la irradiación del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con radiación ultravioleta. El peróxido de hidrógeno absorbe la radiación ultravioleta y se descompone en radicales OH (fotólisis). De esta forma se pueden obtener dos radicales OH de una molécula de peróxido de hidrógeno (Ver Figura 6). (Castañeda Amparo. 2014)

Radiación ultravioleta: La luz ultravioleta actúa mediante la interacción con las moléculas presentes en el medio líquido provocando en la mayoría de los casos, una ruptura de los enlaces químicos. Este tipo de luz actúa dentro de cuatro bandas de radiación las cuales son: UV-A, UV-B, UV-C Y UV- VACIO; las más utilizadas en temas de tratamiento de aguas son las bandas UV-A Y UV-C. (Lenntech BV, 1998-2018)

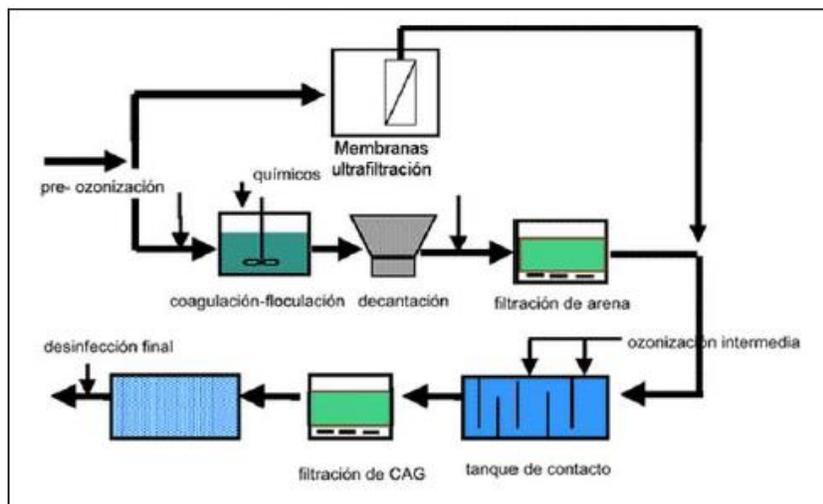
Tabla 3. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE OXIDACION AVANZADA.

PARAMETROS	% DE REMOCIÓN		
	OZONO	UV	PEROXIDO
SOLIDOS	85	75	80
DQO	90	85	85
TURBIEDAD	88	75	80
GRASAS Y ACEITES	40	40	40
HIDROCARBUROS	60	50	50

Tomado de: Rodríguez Tatiana. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta.

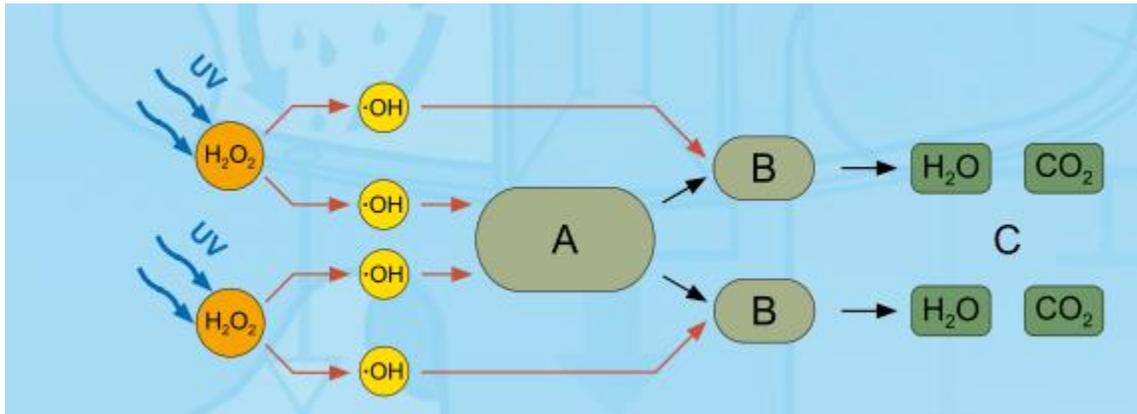
En la tabla anterior podemos observar los porcentajes de remoción para tres tipos de agente oxidante, de los cuales se eligió el ozono como mejor oxidante para tema del análisis de esta tecnología.

FIGURA 5: OXIDACION AVANZADA CON OZONO.



Fuente: Castañeda Jiménez, Amparo Carolina, (2014)

FIGURA 6: REACCION DEL PEROXIDO PARA GENERAR OH



Fuente: (Gunt Hamburg, 2015)

Tabla 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OXIDACIÓN AVANZADA POR OZONO.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Remoción superior al 85% en DQO, DBO, sólidos y materia orgánica, debido a la degradación química de estos componentes.	Baja remoción de grasas y aceites, esta remoción está por debajo del 60%
Bajos costos de instalación y operación.	Trata bajos niveles de caudal
Es una tecnología muy compacta, por lo que dispone de poco espacio para su instalación	Requiere mucho control del PH y la temperatura.
Eficiente tratamiento para aguas duras y con contaminantes no biodegradables.	A veces no se completa la oxidación de los componentes de las aguas residuales.

Autoría propia basada en: (Rodríguez, Tatiana. 2008), (Forero, Jorge. 2005), (Clemente, Jaime. 2011).

6.3. ELECTROCOAGULACION

La electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación–floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional. (Restrepo Ana, 2006)

El reactor electrolítico, donde se realiza la electrocoagulación consta de una fuente de energía para inducir la corriente eléctrica y de los electrodos dispuestos de forma intercalada dentro del reactor, estos van cubiertos por el agua a tratar.

Este tipo de tratamiento compacto tiene como requerimientos mínimos de área para el tratamiento de 5000 litros por hora, un área de 16 metros cuadrados para su operación e instalación. Con un costo de \$ 65.000.000. (Empresa hidrosfera de occidente).

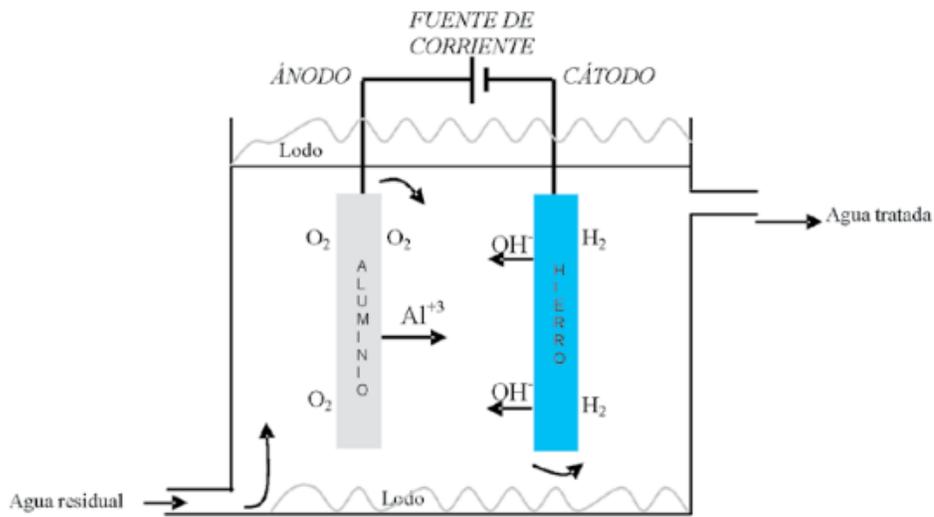
El material de los electrodos varía de acuerdo al tipo de sistema utilizado, estos pueden ser de hierro, de aluminio, cobre, acero o aleaciones de aluminio y magnesio. Las partículas coloidales se desestabilizan con la adición de iones multivalentes (Fe^{+++} y Al^{+++}), (ver figura 7). Los electrodos son de sacrificio debido a que en el proceso electrolítico desprenden en el agua los iones que desestabilizan los coloides. (Morales Nelly. 2010)

Tabla 5. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION.

PARAMETRO	% REMOCIÓN
SOLIDOS	98%
GRASAS Y ACEITES	75%
HIDROCARBUROS	80%
DQO	95%
TURBIEDAD	98%

Tomado de: (Arango Álvaro. 2005)

FIGURA 7. ELECTROCOAGULACION POR ANODO DE ALUMINIO Y CATODO DE HIERRO.



Fuente: Ana Patricia Restrepo Mejía / Álvaro Arango Ruiz / Luis Fernando Garcés Giraldo; Línea de investigación: Tratamiento de aguas.

Tabla 6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menores costos en comparación de los procesos convencionales de coagulación.	Se deben reemplazar los electrodos periódicamente
Alta remoción de contaminantes.	Lodos con altas cargas de aluminio y hierro.
Requiere poco espacio para su operación (16 metros cuadrados).	Altos consumos de energía eléctrica.
Bajos costos en mano de obra.	

Autoría propia basada en: (Camargo, Juan. 2015), (Morales, Nelly. 2010), (Arango Álvaro. 2005)

6.4. INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es un proceso de tratamiento de agua utilizado generalmente para el ablandamiento o desmineralización del agua, aunque también es utilizado para remover otras sustancias del agua en procesos tales como la desalcalinización, deionización, y desinfección. (Vaca Mabel, Magdaleno Laura. 2003).

La atracción de iones es utilizada para eliminar contaminantes iónicos disueltos del agua. El proceso de intercambio tiene lugar entre un sólido (resina o zeolita) y un líquido (agua). Durante el proceso, los componentes menos deseados son intercambiados por otros considerados más deseables. Estos iones deseables son los que se cargan sobre el material de la resina. (Ver figura 8)

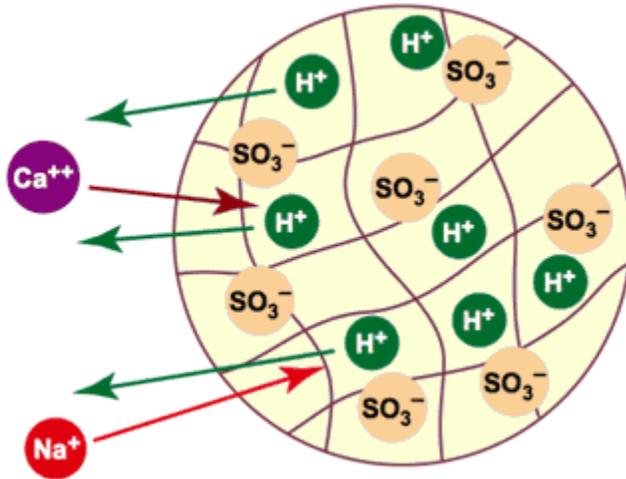
En el intercambio de cationes durante el tratamiento de agua, los iones cargados positivamente que entran en contacto con la resina de intercambio iónico son intercambiados con los iones cargados positivamente disponibles en la superficie de la resina, generalmente sodio.

En el proceso de intercambio aniónico, los iones cargados negativamente son intercambiados con iones cargados negativamente en la superficie de la resina, generalmente cloruro. Varios contaminantes — incluyendo a los nitratos, fluoruros, sulfatos y arsénico — se pueden remover mediante el intercambio de aniones.

Estas resinas pueden utilizarse solas o en conjunto, para eliminar los contaminantes iónicos del agua.

Si una sustancia no es iónica, como es el caso del benceno, entonces no podrá ser removida por medio del intercambio iónico. (2019 Fluence Corporation Limited)

FIGURA 8. PROCESO DE INTERCAMBIO IONICO.



Fuente: (François de Dardel)

Tabla 7. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO.

PARAMETRO	% REMOCIÓN
DUREZA	90%
GRASAS Y ACEITES	45%
NITROGENO	80%
DQO	80%
TURBIEDAD	80%

Fuente: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2015.

Tabla 8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL INTERCAMBIO IÓNICO.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alta remoción de contaminantes en aguas con durezas elevadas.	No se eliminan patógenos como bacterias u hongos con este método.
Poco espacio de instalación y operación.	Altos costos de operación
Baja producción de lodos.	Alta producción de sulfato de calcio en los precipitados.

Autoría propia basada en: (Vaca Mabel, Magdaleno Laura. 2003), (UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. 2015).

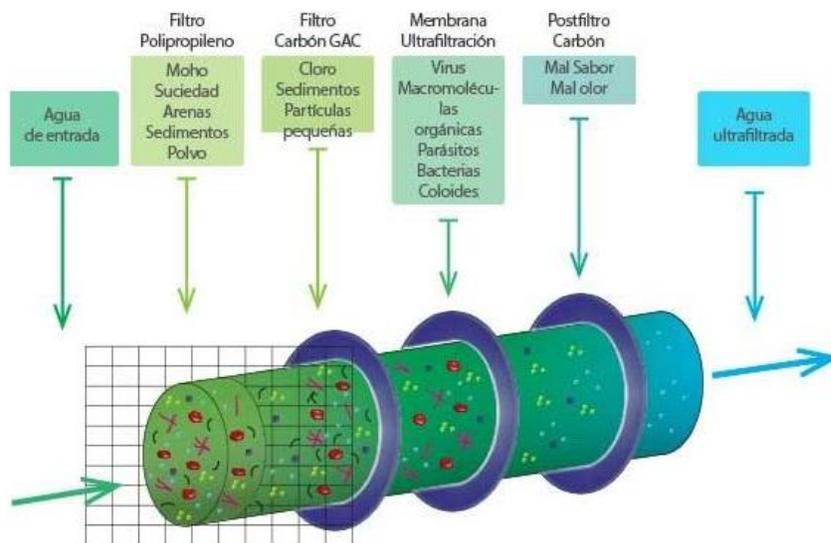
6.5. ULTRAFILTRACIÓN

Se trata de un proceso de filtración de membrana que se elimina sólidos suspendidos, bacterias, virus, endotoxinas y más para producir agua de alta pureza con una baja densidad de sedimentos. Pueden retener partículas de 0.001 – 0.1 μm micras en un fluido. (Lenntech. 2018)

Este tipo de proceso cuenta con varios niveles de filtración para dar el resultado esperado se cuenta con un filtro de polipropileno, seguido de un filtro GAC y por ultimo pasa por el filtró de ultrafiltración. (Ver figura 9)

Las membranas de ultrafiltración son más cerradas que micro filtración pero más abiertas que la nano filtración y ósmosis inversa. Utiliza baja presión para forzar el fluido a través de la membrana que resulta en menores costos de operación. Además, es muy eficaz como tratamiento previo a la ósmosis inversa. Las membranas tienen una vida mucho mayor que las de ósmosis inversa porque tienen un sistema de auto-limpieza mediante un retro lavado. (2014 Carbotecnia)

FIGURA 9. MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN



Fuente: (2004 - 2018 Fibras y Normas de Colombia S.A.S.)

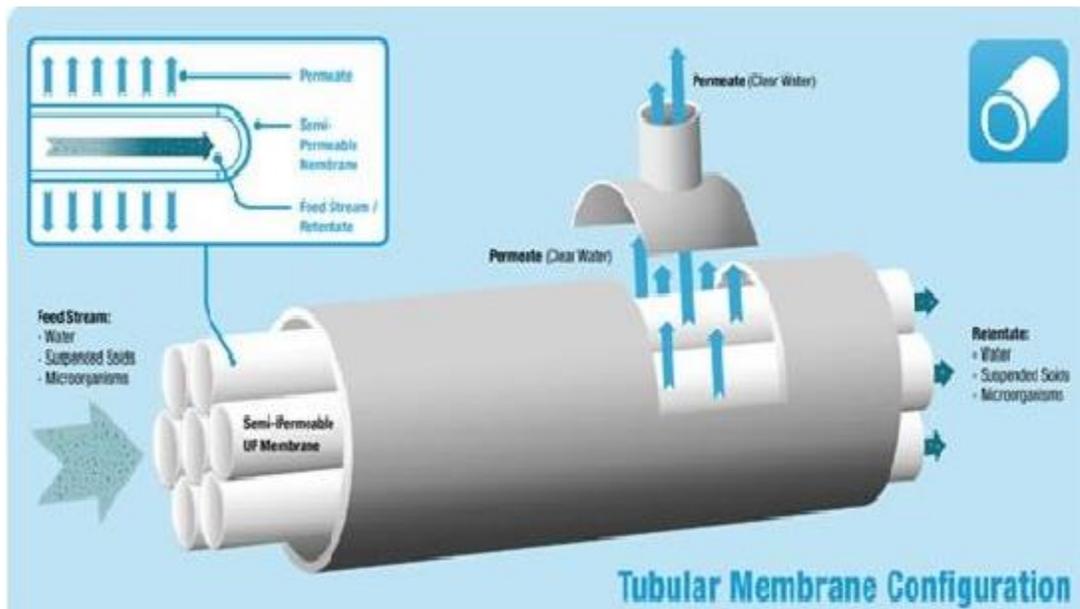
Tipos de membranas

Membrana tubular

Son aquellas con tubos más grandes (0.5” a 1” de diámetro), su utilidad se extiende desde las aguas residuales hasta líquidos viscosos o de muy mala calidad, siendo configuradas para una filtración de flujo cruzado con una recirculación de flujo residual continuo.

La disponibilidad de espacio de dicho tratamiento es de 12 metros cuadrados para el tratamiento de 5 metros cúbicos por hora. Con un costo de \$ 85.000.000. (hidrosfera de occidente)

FIGURA 10. MEMBRANA TUBULAR.

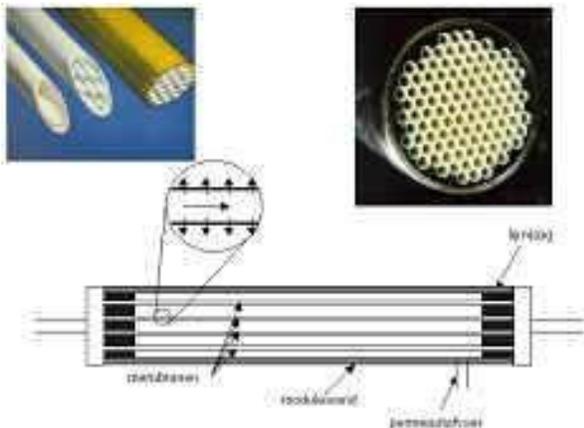


Fuente: (2004 - 2018 Fibras y Normas de Colombia S.A.S.)

Membrana de fibra hueca

Se forman en fibras huecas, configurándose en módulos que contienen múltiples fibras. Funcionan comúnmente en modo de extremo muerto. El flujo puede ser desde el ducto de la fibra hasta el exterior o desde el exterior de la fibra hasta el ducto, la solución a filtrar fluye a través de los núcleos abiertos de fibras y el líquido percolado es recogido por un cartucho que rodea tales fibras. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S.)

FIGURA 11. MEMBRANA DE FIBRA HUECA.



Fuente: Fibras y Normas de Colombia S.A.S.)

Membrana de lámina plana

Se forman con láminas planas y se configuran en pilas de membrana de placa y estructura o cartuchos enrollados de espiral. Comúnmente, su uso es para suministros de agua que no tienen una probabilidad alta de ensuciamiento.

FIGURA 12. MEMBRANA DE LÁMINA PLANA.



Fuente: (2004 - 2018 Fibras y Normas de Colombia S.A.S.)

Tabla 9. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE ULTRAFILTRACIÓN.

PARAMETRO	% REMOCIÓN
SOLIDOS	95%
GRASAS Y ACEITES	80%
HIDROCARBUROS	80%
DQO	95%
TURBIEDAD	98%

Fuente: Galán lucia, 2015, universidad de la laguna.

Tabla 10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ULTRAFILTRACIÓN.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Remociones superiores al 80% en los contaminantes sólidos y las grasas en las aguas residuales.	Altos costos de instalación. Operación y mantenimiento
Necesidad de poco espacio para su instalación.	Alto ensuciamiento de las membranas.
Pueden retener partículas de 0.001 – 0.1 μm micras en un fluido.	Vida útil de las membranas s muy corta.
Bajo consumo de energía en comparación con la osmosis inversa.	

Autoría propia basada en: (Galán Patricia. 2016), (Totagua. 2017), (Francis J. Brady. 2003).

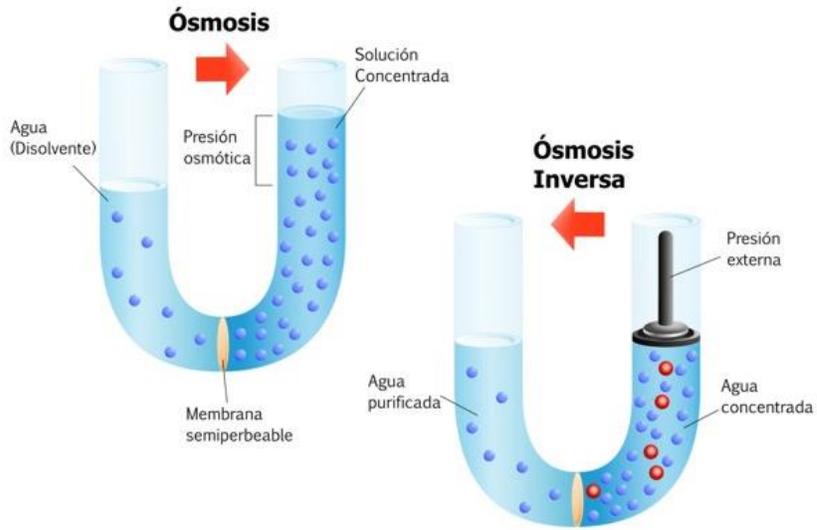
6.6. OSMOSIS INVERSA

La ósmosis es el movimiento de moléculas a través de una membrana parcialmente permeable porosa, que va de una región de mayor concentración a otra de menor, en esta acción la membrana tiende a igualar las concentraciones en los dos lados.(Solís Mauro. 2017)

En el tratamiento de agua los sólidos disueltos al generar esta presión quedan retenidos en la membrana y sólo pasa el agua, a esto se le llama ósmosis inversa (Ver figura 13). Para lograr este efecto del paso del agua es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica.

Una membrana de ósmosis inversa en un equipo correctamente diseñado, la duración puede ser entre 3 a 5 años. Es importante hacer los mantenimientos periódicos con químicos para limpieza de membranas, siguiendo los consejos del fabricante. En aguas con concentraciones altas de sólidos disueltos, dureza o presencia de sílice. (Carbotecnia, 2014)

FIGURA 13. PRINCIPIO DE OSMOSIS INVERSA



Fuente: (Carbotecnia,2014)

FIGURA 14. SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA



Fuente: (Carbotecnia, 2014)

Este sistema (ver figura 14) requiere aproximadamente para el tratamiento de 5 metros cúbicos por hora de aguas residual una área de poco menos de 10 metros cuadrados. Con un costo de \$ 100.000.000. (Hidrosfera de occidente)

Tabla 11. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA.

PARAMETRO	% REMOCIÓN
SOLIDOS	95%
GRASAS Y ACEITES	90%
HIDROCARUROS	95%
DQO	98%
TURBIEDAD	98%

Fuente: Solís Vásquez mauro, 2017, Universidad nacional autónoma de México

Tabla 12. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Remociones superiores al 95% de contaminantes en aguas residuales.	Altos costos de inversión para instalación y operación.
Bajos costos de mano de obra para su operación.	Altos costos de mantenimiento y cambio de membranas.
Es una tecnología muy compacta.	Poca duración de las membranas.
Puede remover metales pesados.	

Autoría propia basada en: (Solís Mauro. 2017), (López Juan. 2000), (Ramírez William. 2006).

7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS TECNOLOGIAS ANALISADAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUELES NO DOMESTICAS.

Se realizaron comparaciones de los diferentes sistemas compactos de tratamiento para aguas residuales no domesticas que se adaptaran a la poca disponibilidad de espacio con el que cuentan algunas industrias.

Se comparó la remoción de cada una de las tecnologías compactas para DQO, solidos totales, turbiedad, grasas y aceites, hidrocarburos como se muestra en la tabla 13. Siendo la tecnología más eficiente para la remoción de los contaminantes analizados la osmosis inversa que genera remociones superiores al 95% en todos los parámetros analizados, también nos mostró unos resultados muy óptimos la ultrafiltración la cual también tiene remociones superiores al 90% en todos los parámetros tenidos en cuenta en el documento, sumado a esto ambas tecnologías se adaptan muy bien a la poca disponibilidad de espacio con el que cuentan las industrias para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de sus procesos productivos.

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

DQO: Osmosis > ultrafiltración= electrocoagulación> oxidación > intercambio>DAF

SOLIDOS: electrocoagulación> osmosis= ultrafiltración>oxidación>DAF>intercambio

GRASAS: osmosis=DAF>ultrafiltración>electrocoagulación> intercambio>oxidación

HIDROCARBUROS: osmosis>ultrafiltración=electrocoagulación=DAF>oxidación>intercambio

TURBIEDAD: osmosis=ultrafiltración=electrocoagulación>oxidación>intercambio>DAF

AREA REQUERIDA

DAF> electrocoagulación> ultrafiltración> osmosis>oxidación

Una de las principales problemáticas con estos dos sistemas de tratamiento de aguas residuales que dieron los mejores resultados en torno a la remoción de contaminantes son los altos costos de inversión que se deben realizar para su instalación y puesta en marcha dentro de la industria, por tal razón en Colombia aún se está explorando el mercado de dichos sistemas, pero se tiene una proyección a un crecimiento significativo debido a la alta exigencia normativa por parte de las autoridades ambientales en Colombia, lo cual obliga a las industrias a realizar más inversión e instalar mejores tratamientos para sus aguas residuales.

Tabla 13. PORCENTAJES DE REMOCION Y AREAS REQUERIDAS.

PARAMETRO	TECNOLOGIA					
	DAF	OXIDACION AVANZADA	ELECTROCOAGULACION	INTERCAMBIO IONICO	ULTRAFILTRACIÓN	OSMOSIS INVERSA
DQO	65	90	95	80	95	98
SOLIDOS	77	85	98	50	95	95
GRASAS Y ACEITES	90	40	75	45	80	90
HIDROCARBUROS	80	60	80	50	80	95
TURBIEDAD	72	88	98	80	98	98
AREA REQUERIDA	24 m ²	8 m ²	16 m ²		12 m ²	10 m ²
COSTOS	80 millones	60 millones	65 millones		85 millones	100 millones

8. METODOS DE ANALISIS DE DECISION CON CRITERIOS MULTIPLES (MADCM) EN LA ELECCION DE TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS.

Los MADMC son un método que ayudan a las industrias o sus gerentes en la toma de decisiones complejas para la elección de una tecnología para el tratamiento de las aguas residuales generadas por su actividad productiva, la cual debe ser tratada para dar cumplimiento a la resolución 0631 de 2015 que es la normatividad aplicable a los vertimientos de tipo líquido a los cuerpos de agua superficial y alcantarillado público. (Huartos Julián. 2018)

Para trabajar con esta metodología se debe definir objetivos principales y secundarios del proyecto, seleccionar criterios de evaluación, determinar las escalas de medición para describir el rango de valores posibles, definir los pesos relativos de los criterios de evaluación, formular una matriz de evaluación, realizar los cálculos recomendados por la metodología y seleccionar la mejor tecnología. (CAR Cundinamarca, 2011)

El planteamiento de los objetivos y criterios a evaluar dentro de la matriz para la elección de la mejor tecnología depende directamente del contexto en el que se encuentre la industria, entre lo que se puede tener en cuenta es la posición económica de la empresa, contexto social, disponibilidad de espacio, tipo de aguas a tratar, entre otros factores.

8.1. FACTORES DE DECISION PARA ELEGIR EL MEJOR SISTEMA DE TRATAMIENTO.

- Espacio requerido para su construcción: se toma este criterio y se le da el peso relativo máximo que es 5, debido a que el análisis se realizó enfocado a tecnologías compactas de tratamiento de aguas residuales.
- Costo de la instalación: se da un peso de 5 a este criterio debido a que en las industrias es un factor determinante al momento de la elección de la tecnología debido a sus costos.
- Calidad del efluente: este criterio es de suma importancia para la decisión debido a que el efluente de la planta de tratamiento debe tener unas buenas características físicas químicas para cumplir con la normativa. Por esto se le dio un peso de 4.
- Costos de mantenimientos: los costos de mantenimiento son muy importantes al momento de ver la viabilidad de la planta de tratamiento en el tiempo, por eso se le dio una valoración de 4 en el peso relativo.
- Generación de lodos: este es un factor muy importante para estas industrias con poca disponibilidad de espacio debido a que si no se cuenta con espacio para instalar la planta de tratamiento mucho menos se tendrá un lugar adecuado para el tratamiento de los lodos. Por esto se le dio un peso de 4.
- Costos de operación: este factor también es de suma importancia para la selección de la tecnología compacta debido a que con estos costos podemos ver la viabilidad de la planta durante el tiempo, por esto se le da un peso relativo de 4.
- Mano de obra requerida: este factor un poco menos importante debido a que gran parte de estas tecnologías seleccionadas tiene alto nivel de automatización por lo que la mano de obra se reduce. Su peso relativo es de 3.

- Impacto social: este factor de decisión no es tan importante para el contexto empresarial debido a que las industrias so mayor preocupación es la producción y dejan muy da lado la parte social. Por esto su peso relativo es de 3.
- Afectación en el proceso productivo de la empresa: es un factor a tener en cuenta debido a que con algunas modificaciones que se pueden hacer en los procesos de la planta de producción se puede alterar la productividad de la empresa, pero aun así no es un factor tan determinante y tiene un peso relativo de 3.
- Cumplimiento de la resolución 0631: el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015 es de suma importancia debido a que con esto es que la autoridad ambiental vela por la protección del medio ambiente y se debe cumplir con dichos valores máximos, por esto tiene un peso de 4.

Para la selección de estos criterios se deben tener en cuenta a los entes ambientales, prestadores de servicios públicos de agua y alcantarillado, comunidad cercana a la empresa, y los mismos operarios de las partes que generan contaminación en la empresa. Los criterios utilizados para este caso de estudio están basados en las necesidades de un proceso de bonderizado con un caudal de 2 metros cúbicos aproximadamente.

8.2. EVALUACION DE LOS FACTORES DE DECISION.

En este punto se le dará una calificación a cada uno de los factores de decisión seleccionados anteriormente con esto tendremos un valor que será multiplicado por el peso relativo y este a su

vez nos dará un puntaje final que será el puntaje de cada tecnología por cada uno de los factores de decisión seleccionados.

Para esta evaluación de los factores se utilizara una escala que va de 1 a 5, siendo 1 la condición menos favorable y 5 la más favorable para la aplicación del sistema de tratamiento.

8.3. PESO RELATIVO.

Este peso relativo se usa para dar una mayor importancia a alguno o algunos de los factores escogidos antes. Para de esta manera optimizar la elección de los sistemas que más se adapten a la industria, este peso se puntúa de 3 a 5, siendo 5 los factores de mayor importancia y 3 los de menor importancia para la elección del sistema, no por eso ser menos necesarios para la elección y posterior puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales. (Ver tabla 18)

Tabla 14. PESOS RELATIVOS DE LOS FACTORES ESCOGIDOS.

FACTORES DE DECISION	PESO RELATIVO
Espacio requerido para su construcción	5
Costos de instalación	5
Calidad del efluente	4
Costos de mantenimientos	4
Generación de lodos	4
Costos de operación	4
Mano de obra requerida	3
Impacto social	3
Afectación en el proceso productivo de la empresa	3
Cumplimiento de la resolución 0631	4

9. ANALISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS AEROBIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

Después de realizar el análisis de las diferentes tecnologías y generar la matriz para la evaluación de tecnologías por el método de análisis de decisión por múltiples criterios se y basados en los resultados, podemos decir que dos de las 6 tecnologías analizadas son las que mejor se adaptan a las condiciones de la industria para su tratamiento de las aguas residuales no domesticas procedentes de la transformación de materias primas en productos de consumo para las personas.

Como se observa en la tabla 19 las tecnologías que mejor puntaje tuvieron al ser sometidas al método de elección utilizado por medio de la matriz fueron la ultrafiltración y la osmosis inversa ambos con un total de puntos de 178, y como única diferencia en sus puntajes esta que la ultrafiltración es una tecnología más económica para su instalación y con buenos porcentajes de remoción cercanos al 90%, mientras que la osmosis inversa optimiza más la remoción de contaminantes con porcentajes cercanos al 98%, pero que su costo es mucho más elevado que la ultrafiltración.

Por lo que se tiene con estos resultados dos opciones válidas para el tratamiento de las aguas residuales no domesticas de la industria, las cuales se amoldan a la perfección a las necesidades de la empresa, dependiendo de la calidad del agua que deseen entregar al cuerpo de agua y también a el presupuesto económico con el que se cuente en la empresa para la instalación y puesta en marcha de la planta de tratamiento.

Tabla 15. MATRIZ DE EVALUACION DE TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS.

FACTOR DE DECISION	DAF		OXIDACION		INT. IONICO		ELECTROCOAGULACION		ULTRAFITRACION		OSMOSIS		PESO RELATIVO
	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL	
Espacio requerido para su construcción	3	15	5	25	5	25	4	20	5	25	5	25	5
Costos de instalación	3	15	5	25	4	20	4	20	3	15	3	15	5
Calidad del efluente	4	16	3	12	4	16	4	16	5	20	5	20	4
Costos de mantenimiento	4	16	4	16	4	16	4	16	4	16	3	12	4
Generación de lodos	3	12	4	16	4	16	3	12	4	16	5	20	4
Costos de operación	3	12	4	16	3	12	4	16	4	16	4	16	4
Mano de obra requerida	4	12	4	12	4	12	4	12	5	15	5	15	3
Impacto social	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	3
Afectación del proceso productivo de la empresa	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	3
Cumplimiento de la resolución 0631	4	20	3	15	4	20	4	20	5	25	5	25	5
	TOTAL	148	TOTAL	167	TOTAL	167	TOTAL	162	TOTAL	178	TOTAL	178	

10. CONCLUSIONES

- Analizando los resultados obtenidos en la tabla 13 podemos concluir que para la remoción de DQO las tecnologías se comportaron la siguiente manera: Osmosis > ultrafiltración= electrocoagulación> oxidación > intercambio>DAF
- Al analizar la tabla 13 la remoción de sólidos totales de las tecnologías fue que: electrocoagulación> osmosis= ultrafiltración>oxidación>DAF>intercambio
- Los resultados obtenidos de la tabla 13 para a remoción de grasas y aceites se muestran a continuación de mayor a menor remoción: osmosis=DAF>ultrafiltración>electrocoagulación> intercambio>oxidación
- Después de analizar los valores obtenidos en la y tabla 13 podemos concluir que para la remoción de hidrocarburos las tecnologías se comportan de la siguiente manera: osmosis>ultrafiltración=electrocoagulación=DAF>oxidación>intercambio
- Los resultados obtenidos de la tabla 13 para remoción de turbiedad se muestran a continuación de mayor a menor remoción: osmosis=ultrafiltración=electrocoagulación>oxidación>intercambio>DAF
- Realizados los análisis de las áreas necesarias para la instalación de las tecnologías los resultados fueron los siguientes y se muestran de mayor área a menor área requerida: DAF> electrocoagulación> ultrafiltración> osmosis>oxidación
- Los costos de instalación de las diferentes tecnologías se muestran a continuación de mayor a menor costo de instalación y puesta en marcha: Osmosis> ultrafiltración> DAF> electrocoagulación>oxidación.
- La tecnología más recomendada para las empresas del sector metalmeccánico según las evaluación de las tecnologías es la ultrafiltración esto debido a que cuenta con una lata

remoción de contaminantes porcentajes superiores al 90%, pero a su vez es más económica que la osmosis inversa, por lo que está más al alcance del presupuesto que se destina para la instalación y puesta en marcha de la planta de tratamiento.

11. BIBLIOGRAFÍAS

1. Loaiza, J. F. (2016). unal.edu. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/54265/1/71795295.2016.pdf>
2. Galarza Sandra. (2011). HERRAMIENTA DE ANÁLISIS MULTI-CRITERIO COMO SOPORTE PARA EL DISEÑO DEL PROGRAMA SOCIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eg/v27n121/v27n121a10.pdf>
3. Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000*. BOGOTÁ
4. Huartos Julián. (2018). ANALISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS AEROBIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.
5. Rojas, Carlos, Rincón, Nancy, Díaz, Altamira, Colina, Gilberto, Behling, Elisabeth, Chacín, Elsa, & Fernández, Nola. (2008). Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 31(1), 50-57. Recuperado en 28 de diciembre de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000100007&lng=es&tlng=es.
6. CAR Cundinamarca. (2011). Información Compilada de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Disponibles y Aplicables al Proyecto.

7. Díaz Miguel. (2018). Tratamiento de aguas residuales oleosas mediante flotación por aire disuelto. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/DAF/articulo%20DAF.pdf
8. Bolaño Alberto. (2009). Sistema por flotación de aire disuelto para aguas industriales. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/DAF/articulo%20DAF.pdf
9. Riera Maria. (2015). DISEÑO DE UNA UNIDAD DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/DAF/Dialnet-DisenodeUnaUnidadDeFlotacionConAireDisueltoParaLaR-5282241.pdf
10. Inditex. (2013). FICHAS TÉCNICAS DE ETAPAS DE PROCESO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/DAF/Flotaci%C3%B3n%20por%20aire%20disuelto.pdf
11. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. (2013). LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO UN TRATAMIENTO EFICIENTE PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/ELECTROCOAGULACION/389-942-1-SM.pdf

12. Restrepo Ana. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de
aguas. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/ELECTROCOAGULACION/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf

13. Morante Gonzalo. (2002). ELECTROCOAGULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.
Obtenido de revista colombiana de física.

14. Arango Alvaro. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas
residuales. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/ELECTROCOAGULACION/procesos-oxidacion-avanzada.pdf

15. Camargo Juan. (2015). REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN
AGUAS RESIDUALES A TRAVÉS DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.
Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/ELECTROCOAGULACION/REMOCI%C3%93N%20DE%20METALE
S%20PESADOS%20PRESENTES%20EN%20AGUAS%20RESIDUALES%20A%20T
RAV%C3%89S%20DEL%20PROCESO%20DE%20ELECTROCOAGULACI%C3%93
N.pdf

16. Morales Nelly. (2010). SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN COMO
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GALVÁNICAS. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/ELECTROCOAGULACION/v20n1a03.pdf

17. Vaca Mier Mabel, Magdaleno Chapa Laura. (2003). TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES POR FILTRACIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/INTERCAMBIO%20IONICO/01126e14.pdf
18. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. (2015). ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE IONES INORGÁNICOS DE UNA ZEOLITA SINTÉTICA TIPO FAUJASITA. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/INTERCAMBIO%20IONICO/1300-4049-1-PB.pdf
19. Rivadeneyra Gabriela. (2007). Utilización de una Resina de Intercambio Iónico para el Desarrollo de Biopelícula Aerobia para el Tratamiento de Agua Residual Industrial Combinada. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/INTERCAMBIO%20IONICO/94403410.pdf
20. Solis Mauro. (2017). Sistema de tratamiento de aguas mediante osmosis inversa. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20DE%20GRADO/OSMOSIS%20INVERSA/aguas-residuales-recope.pdf
21. Ayala Miguel. (2006). Procesos de membranas para el tratamiento de agua residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido 23. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/OSMOSIS%20INVERSA/n38a05.pdf

22. Lopez Juan. (2000). USO DE LA ÓSMOSIS INVERSA PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. OPTIMIZACIÓN DEL PRETRATAMIENTO.

Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/OSMOSIS%20INVERSA/Usode_la_osmosis_inversa_para_la_regeneracion_de_.pdf

23. Ramirez Wulliam. (2006). CONSIDERACIONES BÁSICAS Y VIABILIDAD DE PROCESOS DE MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA Y NANOFILTRACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN COLOMBIA.

Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/OSMOSIS%20INVERSA/williamramirezgomez.2006.pdf

24. Salas G. (2010). TRATAMIENTO POR OXIDACIÓN AVANZADA (REACCIÓN FENTON) DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/OXIDACION%20AVANZADA/4551-15274-1-PB.pdf

25. Castañeda Amparo. (2014). PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA APLICADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO. Obtenido de

de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D

E%20GRADO/OXIDACION%20AVANZADA/Casta%20Jimenez,%20Amparo%20Carolina%20-%202014.pdf

26. Urkiaga Guinea, Gómez Resa, Gutiérrez Ruiz. (2004). Aplicación de procesos de oxidación avanzada al tratamiento de efluentes de diferentes sectores industriales. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20E%20GRADO/OXIDACION%20AVANZADA/industriales.pdf
27. Rodríguez Tatiana. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20E%20GRADO/OXIDACION%20AVANZADA/n46a03.pdf
28. hager+elsasser, <https://www.hager-elsaesser.de/index.php/flotacion-flottopac.html>
29. Castañeda Jiménez, Amparo Carolina, (2014)
30. REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 34, No. 2. 2002.
31. Ana Patricia Restrepo Mejía / Álvaro Arango Ruiz / Luis Fernando Garcés Giraldo; Línea de investigación: Tratamiento de aguas
32. Galán lucia, 2015, universidad de la laguna.
33. Forero Jorge. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. Obtenido de

file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D
E%20GRADO/OXIDACION%20AVANZADA/OXIDACION.pdf

34. IQD. Procesos de Oxidación Avanzada. Obtenido de <http://www.iqdinvesquia.com/>.

35. Clemente Jaime. (2011). APLICACIÓN DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (FOTOCATÁLISIS SOLAR) PARA TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D E%20GRADO/OXIDACION%20AVANZADA/tesisUPV2816.pdf

36. Galan Patricia. (2016). “Evaluación de la Ultrafiltración Directa de agua residual doméstica por medio de un módulo rotativo de fibra hueca sumergido”. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D E%20GRADO/ULTRAFILTRACION/Evaluacion%20de%20la%20Ultrafiltracion%20D irecta%20de%20agua%20residual%20domestica%20por%20medio%20de%20un%20mo dulo%20rotativo%20de%20fibra%20hueca%20sumergido.pdf

37. Francis J. Brady. (2003). Tratamiento de Aguas amiento de Aguas Residuales por Residuales por Ultrafiltración en Ultrafiltración en Operación de Lote Operación de Lote Modificado. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D E%20GRADO/ULTRAFILTRACION/ultrafiltracion%20(1).pdf

38. Totagua. (2017). Bioreactores de membrana Ultrafiltración Tubular Ultrafiltración tangencial cerámica. Obtenido de file:///E:/documentos%20alejo/trabajo%20de%20grado/tema%20nuevo/TRABAJO%20D E%20GRADO/ULTRAFILTRACION/ultrafiltracion.pdf

39. Suarez López Joaquín, Jácome Burgos Alfredo, (2014), Inditex, FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO.

40. Belsona. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Obtenido de https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf