



TRABAJO FINAL DE MÁSTER



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiante: **Error! Reference source not found.**

Titulación: Elija un elemento

Título del Trabajo final de Máster: **Sistema combinado de procesos de oxidación avanzada y tratamiento biológico para la remoción de contaminantes emergentes presentes en al agua residual de RTE causados por el uso de humectantes**

Directores: **Ma. Alejandra Rivera**
Javier Antonio Arcibar Orozco

Presentación

Mes: Maig

Any: 2019

Resumen

Palabras clave: RTE, Contaminantes Emergentes, Tensoactivos, Humectantes, Procesos de oxidación avanzada (AOP's), Reactor Aerobio.

La ciudad de León, Guanajuato es bien conocida por ser uno de los principales productores de cuero en el país. El proceso de curtido de pieles conlleva una serie de etapas especiales para su transformación, estas etapas representan un gran impacto para el medio ambiente, ya que para fabricar cueros se requieren diversos productos químicos, los cuales generan residuos que son desechados junto con las aguas residuales amenazando la integridad medio ambiente. En la mayoría de los casos estas sustancias están identificadas, y se tiene forma de controlar su descarga. Sin embargo, existe otro tipo de contaminantes a los que no se ha prestado la suficiente atención, estos se denominan contaminantes emergentes. La información disponible acerca de ellos es muy limitada, pero se ha demostrado que en altas concentraciones afectan la actividad enzimática en su tarea de descontaminar las aguas, lo que ocasiona daños severos al ambiente si no se da un tratamiento a las aguas residuales que los contienen o este tratamiento no es adecuado. Se puede asegurar la remoción de estos contaminantes mediante Técnicas Biológicas Aerobias y Procesos de Oxidación Avanzada (AOP's). En este trabajo se propone un tren de tratamiento de aguas residuales de tenería combinando estas dos técnicas.

Abstract

Key words: Retanning, Emerging Contaminants, surfactants, humectant, Advanced Oxidation Process (AOP's), Aerobic Reactor

Leon, Guanajuato is a city well known for being one of the greatest leather producers within the country. Several stages take place in order to transform the animal's skin in leather; these stages require the usage of a fair amount of chemical products, from which contaminants are dragged into the wastewater representing a threat to the environment, these contaminants are generally, identified, and there are ways of controlling their disposal to the environment. However, there are certain type of contaminants, known as emerging contaminants, to which we have not being paying much attention. The available data about these type of pollutants is rather limited, but there is proof that, in high concentrations, they affect enzymatic activity not allowing bacteria to perform their functions in water decontamination, which causes several damages to the environment if the wastewater is not treated or if the treatment is not adequate. Biologic Techniques and Advanced Oxidation Processes (AOP's) can remove these components. This project present a proposal to treat wastewater coming from a tannery by using both these techniques.

Índice

Resumen	I
Abstract	II
Glosario	V
Introducción	1
1.1. Antecedentes	4
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	7
1.3. Abasto	7
1.3.1. Descripción del proceso de curtido	7
1.3.2. Problemática ambiental asociada con residuos provenientes del curtido	11
1.3.3. Presencia de contaminantes emergentes en el proceso de curtido	15
1.3.4. Tecnologías de oxidación avanzada y de tratamiento biológico para eliminar contaminantes emergentes	18
Capítulo 1.	1
1.4. Metodología	1
1.4.1. Adquisición de conocimiento sobre los contaminantes emergentes procedentes del uso de tensoactivos/humectantes para conocer los efectos negativos que tiene un tratamiento ineficiente de las aguas residuales que los contienen.	1
1.4.2. Selección de la tecnología más adecuada para la remoción de contaminantes emergentes resultantes de tensoactivos/humectantes para obtener los requisitos bajo los cuales se debe realizar la propuesta de tratamiento.	2
1.4.3. Elaboración de propuesta de tratamiento para la eliminación de contaminantes emergentes causados por el uso de tensoactivos/humectantes en el proceso de RTE en GST Manufacturas de México	3
1.4.4. Elaboración de un cronograma de actividades	3
Capítulo 2.	1
1.5. Resultados	1

1.5.1. Recopilación de información bibliográfica acerca de los contaminantes emergentes procedentes del uso de tensoactivos/humectantes para conocer los efectos negativos que tiene un tratamiento ineficiente de las aguas residuales que los contienen.	1
1.5.2. Selección de la tecnología más adecuada para la remoción de contaminantes emergentes resultantes de tensoactivos/humectantes para obtener los requisitos bajo los cuales se debe realizar la propuesta de tratamiento.	1
1. Error! Bookmark not defined.	
2. Error! Bookmark not defined.	
1.5.3. Elaboración de tratamiento para la eliminación de contaminantes emergentes causados por el uso de tensoactivos/humectantes en RTE en GST	4
1. Error! Bookmark not defined.	
2. Error! Bookmark not defined.	
3. Error! Bookmark not defined.	
4. Error! Bookmark not defined.	
1.5.4. Elaboración de un cronograma de actividades que presentar a la dirección de GST Manufacturas de México y proponer el tratamiento de las aguas residuales para el proceso de RTE	26
Conclusiones	1
Agradecimientos	1
Bibliografía	1
Anexos	1

Glosario

RTE. Proceso del curtido de piel en el cual se dan características específicas al cuero mediante la adición de productos químicos en las operaciones de Recurtido Teñido y Engrase (RTE)

Contaminantes Emergentes Compuestos químicos producto de las actividades humanas que no se consideraban perjudiciales hasta hace poco.

Tensoactivos Sustancia que modifica la tensión superficial del líquido en el que se halla disuelta

Humectantes Sustancia que sirve para humedecer

Procesos de Oxidación Avanzada Proceso que consiste en una elevada oxidación química mediante la generación de radicales hidroxilo (OH.)

Reactor aerobio Sistema aireado para tratar aguas residuales que consiste en el aprovechamiento de las capacidades de ciertos microorganismos para asimilar la materia orgánica y los nutrientes disueltos en el agua

Introducción

Es bien sabido que el sector de curtido de piel representa uno de los principales ingresos económicos del estado de Guanajuato. Sin embargo, también es considerada como una de las actividades más contaminantes debido a las grandes cantidades de agua y a los tan agresivos químicos que se emplean a lo largo de su proceso. Dichos productos químicos tienen un alto impacto en la contaminación del agua y consecuentemente en el medio ambiente (Cárcamo-Solís, Carrete-Lucero, & Arroyo-López., 2016). De acuerdo con datos de la UNESCO más del 80% de los vertidos de agua residual industrial y municipal se hacen de forma inadecuada. El mismo estudio revela que hay una gran variabilidad entre los distintos países debido a la escasez de recursos con la que se enfrenta cada región. Por ejemplo, en Europa el 71% del agua residual generada es tratada mientras; que en Latino América únicamente el 20%. (UNESCO, 2017).

Las aguas residuales cuando se descargan, ocasionan efectos negativos en el ambiente y según su naturaleza representan diversos inconvenientes para los usos posteriores de estas aguas. Un cuerpo de agua contaminado disminuye su potencial de uso como agua para consumo humano o para fines agrícolas, de igual manera que también afecta la vida acuática al disminuir el oxígeno presente y provocar la proliferación de flora y fauna nociva para el ecosistema.

Si las aguas industriales van a la red de alcantarillado y no reciben el tratamiento adecuado por parte de las empresas que las generan, los costos de tratamiento en las plantas de aguas residuales municipales se tornan muy altos (Mehrvan & Tabrizi, 2006), puede haber taponamiento de los ductos por la cantidad de sólidos, desbordamiento de las fosas por exceder su capacidad, deterioro de los materiales de concreto, (Cárcamo-Solís, Carrete-Lucero, & Arroyo-López., 2016). Todo lo anterior sin mencionar el impacto que la industria curtidora tiene sobre la salud humana por ejemplo, la dermatitis, la cual se desarrolla tras el contacto con químicos presentes en los cueros. (Carballa, 2005)

Algunos casos de deterioro ambiental causados por la actividad de las curtidorías en León, Guanajuato son la contaminación del Río Turbio, en el cual se encontraron desechos de carnaza,

huesos, piel y carne, además de químicos empleados durante el proceso de curtido (Rodríguez M. D., 2005). Otro caso es el de la Presa de Silva la cual después de la muerte de más de 25 mil aves migratorias provenientes de Estados Unidos y Canadá fue catalogada como Área Natural Protegida y se cerró el acceso de afluentes contaminados con los que tuviera contacto, tal es el caso del Río Turbio (Surveza, 2006). La muerte de las aves fue provocada por las grandes cantidades de metales pesados que la industria curtidora vertía en sus efluentes. (Rodríguez M. D., 2005)

Actualmente, existe un creciente interés por un grupo de contaminantes cuya presencia en el medio ambiente, y sus posibles consecuencias no habían sido tomados en cuenta. Estos son los contaminantes emergentes. Compuestos de los que se conoce muy poco en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento; en la mayoría de los casos son contaminantes no regulados que podrían ser candidatos a regulación futura dependiendo de investigaciones sobre sus efectos potenciales en la salud y el medio ambiente (Barceló D., 2018). Este tipo de contaminantes se encuentran en diferentes concentraciones según sean las actividades: industriales, ganaderas, agrícolas e incluso según el número de habitantes en cada localidad. Estos compuestos provocan la contaminación de los suelos y son acarreados por las lluvias a los cuerpos de agua.

Los contaminantes emergentes comprenden una amplia gama de compuestos químicos, productos farmacéuticos, de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes y aditivos industriales que no están incluidos en el monitoreo actual de programas de tratamiento de aguas (Gil, Soto, Usma, & Gutierrez, 2012). Para efectos de este trabajo la investigación se enfocará en los agentes tensoactivos.

Los contaminantes emergentes se forman poco a poco ocasionando la aparición de microorganismos patógenos resistentes a los tratamientos de aguas convencionales. Las plantas de tratamiento no están diseñadas para degradar este tipo de compuestos en altas concentraciones, es decir, la actividad enzimática de los lodos activados se ve afectada de tal manera que los microorganismos no son capaces de atacar la presencia de este tipo de contaminantes (Barceló D., 2018). Estos compuestos afectan a mamíferos y tienen un mayor impacto en los organismos acuáticos (C.Planasa, et al., 2002)

Los residuos de los productos humectantes empleados como detergentes se liberan al ambiente en pequeñas cantidades, pero con el tiempo y debido a su uso intensivo y generalizado, se van acumulando en el entorno; se degradan muy lentamente y se dispersan fácilmente introduciéndose en otros ecosistemas lejos de su fuente de emisión. (Badillo, Cortázar, Hipólito, Pérez, & Sánchez,

2010). Se encontraron concentraciones de 1,090 mg/L de estos compuestos en efluentes de aguas del alcantarillado público, concentraciones de hasta 30,200 mg/Kg (peso seco) en lodos tratados y concentraciones de 416 mg/L en aguas superficiales (Rebello, Asok, Mundayoor, & Jisha, 2014).

Los compuestos resultantes de los productos humectantes son dañinos para poblaciones microbianas de carácter anaerobio. Su Concentración Inhibitoria Media (IC_{50}), es decir, la concentración mínima a la que se estos agentes inhiben la actividad de los microorganismos es 14 mg/L (Badillo, Cortázar, Hipólito, Pérez, & Sánchez, 2010). Tal es el caso de la amonio-oxidasas, las cuales inhiben el crecimiento bacteriano. Se ha demostrado que estos contaminantes pueden ser tóxicos para las bacterias anaeróbicas y que la adición de este tipo de contaminantes a digestores anaeróbicos en concentraciones mayores a la IC_{50} provoca la inhibición total o parcial de la actividad metanogénica y acidogénica (Mehrvar & Tabrizi, 2006).

En México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Acceso a la información las autoridades de salud y el medio ambiente no cuentan con un listado de contaminantes emergentes en agua. La falta de dicho listado radica en que no es un tema prioritario en los programas de investigación y desarrollo, y por lo tanto no se cuenta con datos de monitoreo sistemático (Undiano, Arroyo, & Ayala, 2017).

GST Manufacturas de México es una empresa comprometida con el medioambiente y es por eso que toma medidas para mitigar la contaminación causada por las actividades productivas de la planta curtidora mediante la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) basado en la norma internacional ISO 14001:2015. En la matriz ambiental se detecta la presencia de estos contaminantes emergentes que provienen de los vertidos de agua residual debido al uso de humectantes.

1.1. Antecedentes

GST Manufacturas de México es una curtiduría ubicada en el Fraccionamiento Ciudad Industrial en León Guanajuato, la cual fabrica cuero para asientos del sector automotriz. Dentro de las instalaciones no se lleva a cabo el proceso completo de curtido, se realizan operaciones de RTE, pre-acabado, acabado en seco y corte, para este proyecto nos enfocaremos únicamente en los procesos de RTE ya que se emplean tensoactivos y humectantes para los procesos de acabado en húmedo de los cueros.

GST es una empresa certificada en la norma internacional ISO 14001 referente a los Sistemas de Gestión Ambiental. La versión actual de la norma (2015) en una de sus secciones establece la integración del Análisis de Ciclo de Vida a sus actividades, lo cual requiere exigencia en cuestiones ambientales más allá de su proceso, siempre y cuando sea posible. Esto significa establecer requerimientos a proveedores para que realicen actividades que promuevan el cuidado del medioambiente y recomendaciones de uso/disposición de materiales una vez que termine su vida útil.

La planta de RETAN de GST, en donde se llevan a cabo las actividades de RTE, es proveedor directo de planta corte, dado a que esta última tiene influencia sobre la planta de RETAN es necesario mejorar los procesos a fin de reducir la contaminación generada por las actividades y de esa manera colaborar con actividades de responsabilidad social industrial.

A fin de cumplir con requerimientos de SAPAL, GST Manufacturas de México está obligada a realizar análisis y reportar el índice de contaminación de las aguas residuales que descarga al drenaje de la ciudad. Los parámetros que GST Manufacturas de México debe reportar de acuerdo con la autoridad son: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Grasas y Aceites (GyA) y Sólidos suspendidos Totales (SST). Sin embargo, como se ha mencionado con anterioridad y por el giro de la empresa se prevé la presencia de contaminantes emergentes en las descargas de aguas residuales de GST. Se llevaron a cabo análisis de laboratorio para determinar las concentraciones de los contaminantes mencionados con anterioridad y estas fueron las siguientes: 325,90mg/L de GyA, 760 mg/L de SST, 3,179 mg/L de DQO y 2,900 mg/L de DBO₅. (Ver Anexo 1. Análisis de Agua Residual GST).

Aunque no son compuestos de interés para las autoridades, se ha demostrado que los residuos de los productos tensoactivos presentan mayor toxicidad que el propio producto, sus productos de degradación (principalmente nonil y octil fenoles) se absorben fácilmente en los sólidos suspendidos. Los residuos de estos agentes incluyen grupos de contaminantes emergentes del tipo sulfonato alquilbenceno (tensoactivos aniónicos) y del tipo alquilfenolpolietoxilado (tensoactivos del tipo no iónicos) (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Los químicos empleados como detergentes o tensoactivos son altamente tóxicos para los organismos acuáticos y han sido encontrados en aguas superficiales contaminadas con la escorrentía de aguas residuales industriales y urbanas. En diversos estudios se ha documentado la actividad estrogénica de células humanas y animales estando en contacto con contaminantes del tipo alquilfenol y se ha determinado que este tipo de contaminantes afecta el sistema reproductivo tanto de humanos como de animales. (Flores-Nunes, y otros, 2015). Además, también se han encontrado daños como la disminución de la capacidad para reproducirse en organismos acuáticos expuestos a mezclas de compuestos alquilfenolpolietoxilados (Barceló & Petrovic, 2009). Debido a los efectos que tienen estos contaminantes emergentes y su persistencia en la vida marina los alquilfenoles están catalogados como sustancias de posible preocupación y podrían convertirse en sustancias de prioridad en la lista.

Los contaminantes emergentes causados por el uso de detergentes en la industria representan una amenaza seria al medio ambiente de la cual se sabe muy poco y no debería subestimarse. Es por esto que se han elaborado pruebas a nivel laboratorio de remoción de contaminantes emergentes generados por los productos humectantes mediante el uso de tecnologías AOP's. Las pruebas que se revisaron como referencia para este proyecto incluyen el uso de tecnologías de oxidación avanzada con sistemas Fenton y se ha comprobado que estos procesos son capaces de alcanzar una considerable degradación de los contaminantes debido a la generación de compuestos oxidativos capaces de mineralizar una gran cantidad de materia orgánica.

En pruebas realizadas con este tipo de tecnologías como alternativas para remover los compuestos del tipo sulfonato alquilbenceno de aguas grises se obtuvieron resultados de reducción de un 90% la concentración inicial de DBO_5 (Zhu, Wang, Yip, & Tsang, 2015). Por otro lado, de una comparación entre tecnologías AOP's con sistema Fenton y ozonificación para tratar agentes tensoactivos se observó que el sistema Fenton presenta una remoción del 80% de la DQO total inicial (Sanz, Lombraña, Luis, Ortueta, & Varona, 2003). Otras pruebas que se realizaron con el mismo objetivo revelaron que la remoción de sulfonatos alquilbenceno se puede lograr desde un 67

hasta un 90%. Además de esto, los sistemas Fenton también han demostrado ser capaces de remover la coloración en el agua, se realizaron pruebas en aguas con colorantes comerciales empleados en el ramo curtidor y los resultados arrojaron una remoción de hasta el 87% del color (Guzmán & Hernández, 2015).

Aunque la coloración del agua no es objeto de estudio para este proyecto en particular es importante recordar que en los procesos de Tintura de RTE se emplean anilinas para teñir los cueros y por lo tanto el agua que sale de los procesos contiene este tipo de colorantes, que las tecnologías de remoción de contaminantes de aguas residuales nunca se diseñan pensando en remover un solo contaminante y que, la remoción de la DBO₅, DQO, SST y de más parámetros significa no sólo una remoción de la carga orgánica por lo que las pruebas mencionadas con anterioridad sugieren que el tratamiento de oxidación avanzada es una buena opción para el tratamiento de agua residual de las actividades de RTE en GST Manufacturas de México.

Con este proyecto se busca proponer un tratamiento de aguas residuales para eliminar la presencia de contaminantes emergentes resultantes de los residuos de los productos humectantes empleados en el proceso productivo de dicha tenería y que de esa manera se lleven prácticas de responsabilidad social empresarial que ayuden a la mejora del Sistema de Gestión Ambiental establecido por GST

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer un tren de tratamiento de aguas residuales para la construcción de una planta tratadora que garantice la eliminación de contaminantes emergentes provocados por el uso de humectantes y tensoactivos en los procesos de RTE para la empresa GST Manufacturas de México.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Adquirir conocimiento sobre los contaminantes emergentes procedentes del uso de Tensoactivos/humectantes para conocer los efectos negativos que tiene un tratamiento ineficiente de las aguas residuales que los contienen.

2. Comprender cuál es la tecnología más adecuada para la remoción de contaminantes emergentes resultantes de tensoactivos/humectantes para obtener los requisitos bajo las cuales se debe realizar la propuesta de tratamiento.
3. Proponer un tratamiento para la eliminación de contaminantes emergentes causados por el uso de tensoactivos/humectantes en el proceso de RTE en GST Manufacturas de México.
4. Determinar las actividades necesarias para la elaboración de un cronograma de actividades que presentar a la dirección de GST Manufacturas de México y proponer el proyecto de tratamiento de aguas residuales para el proceso de RTE.

1.3. Abasto

1.3.1. Descripción del proceso de curtido

El proceso de curtido es la transformación de la piel animal de materia orgánica putrescible a cuero imputrescible. Existen diversas técnicas para curtir pieles, la más usada es el curtido al cromo. El proceso emplea grandes cantidades de agua y un sinnúmero de productos químicos para procesar las pieles, está conformado por cuatro etapas: Ribera, Curtido, Acabado en húmedo y Acabado en seco.

En la etapa de Ribera se llevan a cabo las operaciones de remojo y pelambre. El remojo es la operación que se realiza con la finalidad de rehidratar las pieles si es que estas no llegan frescas. En el remojo se utilizan productos como tensoactivos para acelerar el proceso de hidratación de la piel, bactericidas para inhibir la actividad bacteriana y álcalis para elevar el pH. El pelambre permite remover el pelo y la epidermis, ayuda a generar puntos reactivos dentro de la piel para que estos reaccionen con los productos químicos empleados en las etapas siguientes, la adición de cal libera estos puntos y abre las fibras; los productos más empleados comúnmente son el sulfhidrato de sodio y el sulfuro de sodio (Soler, 2000). El pelambre es una de las actividades más contaminantes en el proceso de curtido por las grandes cantidades de pelo que son arrastradas en los baños residuales del proceso y por los residuos de sulfuro y sulfhidrato de sodio.

Una vez generados los puntos reactivos en las fibras de la piel se tiene que eliminar la cal y los productos alcalinos mediante la operación de desencalado. El desencalado, junto con el rendido, el pickle, el curtido y el basificado forman parte de la segunda etapa de todo el proceso, el Curtido. Para desencalar las pieles generalmente se pueden emplear sulfato de amonio, desengrasantes, bisulfito de sodio o desecantes de marca, estos últimos contienen ciertas características específicas de acuerdo a cada fabricante. Una vez removida la cal y los productos alcalinos se hace una limpieza profunda de la piel mediante la operación de rendido, para lograr esta limpieza se emplean enzimas pancreáticas. La operación siguiente es el pickle en el cual se acondicionan las pieles en

medio ácido para que estas tengan carga positiva tanto en su interior como en la superficie, los ácidos más usados son ácido fórmico y ácido sulfúrico, también se emplea cloruro de sodio para evitar el hinchamiento ácido de las pieles (Soler, 2000). La operación de curtido consiste en estabilizar la proteína de colágeno de las pieles para evitar que estas se pudran con el tiempo, esto generalmente se logra mediante la adición de sales de cromo, sin embargo, también pueden emplearse extractos vegetales o curtientes orgánicos como el aluminio. A partir de la operación de curtido a las pieles se les llama cuero.

La última operación en la etapa de Curtido es el basificado, aquí, se puede emplear bicarbonato de sodio para elevar el pH de las pieles en medio ácido para fijar el cromo a las fibras de cuero (Figura 1).



Figura 1 Cuero curtido al cromo adquirido por GST Manufacturas de México

En la etapa de Acabado en húmedo se llevan a cabo operaciones de Recurtido, Tintura y Engrase (RTE). Durante el Recurtido se busca dar ciertas características específicas a los cueros, tales como, llenura, plenitud, retención al grabado, resistencia, entre otras, para esta operación existe una gran variedad de productos químicos, se pueden emplear sales de cromo, de aluminio, de circonio, titanio, sintéticos de sustitución o extractos vegetales, también se usan algunos productos auxiliares como rellenanates, penetrantes, cambiadores de carga y humectantes para acelerar las reacciones en los cueros y obtener las características buscadas (Soler, 2000). La Tintura, como su nombre lo dice, es una operación para dar color al cuero, para lograr esto se emplean anilinas, las hay en una amplia gama de tonalidades; pueden ser aniónicas o catiónicas según las características que presenten los cueros y los tipos de Tintura que se desea obtener, es decir, si se busca una Tintura atravesada o no atravesada. Se hace el Engrase de los cueros para lubricar internamente las fibras y dar suavidad y brindar tacto, se emplean aceites sulfitados, sulfatados, crudos y sintéticos, se pueden emplear

usando distintas combinaciones de los mismos para obtener ciertas características. Todas estas variantes de elección de productos químicos en la etapa de Acabado húmedo dependen de la demanda de los clientes y del tipo de producto a elaborar. Existe una gran variedad de fórmulas empleadas en los procesos de RTE, cada una pensada para satisfacer necesidades específicas de los distintos mercados. A continuación, se muestra una posible formulación de Recurtido (Figura 2 y 3) (Soler, 2000)

% sobre peso rebajado o esmerilado húmedo.	
Agua	130 - 180 % a 35°C
Acido fórmico o acético	0.3 % - 1.0 %.
Tensoactivo no iónico	0.3 % - 1.0 %.
Rodar 30 - 60 minutos	(hasta rehumectación).
Vaciar y enjuagar.	
Agua	50 % - 100 % a 35°C – 40°C.
Acido fórmico	0.1 % a 0.3 %
Rodar de 10 a 15 minutos	(Control pH baño a 4.0)
Sal de cromo	2 % - 4 %
Sintético sustitución polvo	2 % - 4 %
Rodar de 2 a 4 horas.	

Figura 2 Fórmula de recurtición al cromo de cueros rebajadas o esmeriladas en húmedo



Figura 3 Cueros después del proceso de RTE en GST Manufacturas de México

La etapa de Acabado en seco es muy variada también y se lleva a cabo por capas, hay una gran cantidad de máquinas para el acabado de las pieles. Existen máquinas con pistolas, rodillos, brazos

mecánicos y cortinas de pintura (Bacardit & Ll.Ollé, Maquinaria de Curtidos, 2002). Son diversas las técnicas para dar al cuero el aspecto final, estas se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Acabado natural. Cueros plena flor, se conserva el color natural y únicamente se aplica una capa transparente.
2. Acabado anilina. Piel de buena calidad, se utilizan anilinas porque estas no tienen poder cubriente, únicamente se emplean para dar color.
3. Acabado semianilina. Esta es la técnica de acabado más empleada, en ella se emplea una mezcla de anilinas y pigmentos, los cuales tienen poder cubriente, para dar color y esconder los defectos del cuero.
4. Acabado pigmentado. Se emplean pigmentos únicamente, este tipo de acabados cubre completamente la superficie del cuero.

Además de pigmentos y colorantes, en la etapa de Acabado en húmedo se emplean ligantes (en caso de usar pigmentos), auxiliares como disolventes, ceras, rellenantes, mateantes, espesantes, plastificantes, agentes de tacto y otros productos como lacas para dar brillo a las últimas capas del acabado (Bacardit & Ll.Ollé, El acabado del cuero, 2002).

1.3.2. Problemática ambiental asociada con residuos provenientes del curtido

Durante el todo el proceso de curtido se emplea una gran variedad de productos químicos que se combinan con grandes cantidades de agua para lograr transformar las pieles en cuero y convertirlo en artículos de mayor valor en el mercado lo que genera un gran impacto en el medio ambiente causado por las aguas residuales. (Figuras 4 y 5)



Sistema comt presentes en e **Figura 1 Descarga de Agua Residual de tambores de RTE en GST Manufacturas de México** is emergentes



Figura 5 Muestra de agua residual de RTE de GST Manufacturas de México

El uso de sustancias tóxicas en los procesos productivos de las empresas genera altos niveles de contaminación. Así como también, el vertido clandestino de residuos o su disposición en lugares inadecuados, entre otras (Cárcamo-Solís, Carrete-Lucero, & Arroyo-López., 2016). Actualmente, existe un mayor interés para la mejora de las técnicas de remediación y prevención de la contaminación para de esa manera mejorar la calidad de vida de todos los seres que habitan en el planeta Tierra.

El consumo de agua por parte de las industrias es muy alto. La cantidad medida en litros depende directamente del peso de las pieles procesadas. Por ejemplo, en los procesos de curtido, sobre todo en la etapa de Ribera, el porcentaje de agua utilizado en un solo baño puede representar hasta un 200% del total del peso de las pieles, estos pesos están alrededor de 20 y 25 Kg por unidad (Valencia, 2009). Es importante mencionar que la mayoría de las etapas de curtido de piel requieren de agua para su ejecución.

En promedio, en la ciudad de León, Guanajuato se concentra alrededor del 92% de las tenerías del estado lo que equivale a 128 curtidoras registradas ante la Cámara de la Industria de Curtiduría del estado de Guanajuato (CICUR) (CICUR, 2017). Una tenería puede consumir de 20 a 70 m³ de agua por tonelada de piel procesada (CONAGUA, 2014).

La CONAGUA publica entre sus principales indicadores de calidad del agua la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Para fines de este proyecto se toman esos tres parámetros de calidad del agua debido a que son los parámetros mínimos de diseño de un tren de tratamiento de agua residual.

Además de los parámetros mencionados con anterioridad, se considerará uno adicional, las Grasas y Aceites (GyA), ya que en GST Manufacturas de México se llevan a cabo procesos de Recurtido Teñido y Engrase (RTE). Durante el engrase de los cueros se emplean grasas y aceites para lograr la suavidad de estos mismos, los residuos de estos productos se quedan en las aguas residuales y es necesario tenerlos en consideración para efectuar una adecuada remoción de ellos

A continuación, se describe cada uno de los parámetros.

La DBO se define como la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos heterótrofos¹ para transformar la materia orgánica en CO₂ y H₂O de manera aeróbica. La DBO es una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable y se calcula a partir de la medida de la disminución de la concentración de oxígeno disuelto después de incubar una muestra durante un periodo de tiempo de 5 días. La medida debe hacerse en la oscuridad para evitar la producción fotosintética de oxígeno. Generalmente, un agua residual industrial tiene, tres veces mayor Demanda Bioquímica Oxígeno que un agua residual urbana (Cárcamo-Solís, Carrete-Lucero, & Arroyo-López., 2016).

Por otro lado, la DQO es el índice general de contaminación más usado y se refiere al consumo de oxígeno (mg/L) en la oxidación total (Doménech & Peral, 2006) por la vía húmeda de la materia carbonacea presente en el agua, es decir, el consumo del 100% del oxígeno presente por parte de las sustancias reductoras empleadas en la prueba.

¹ Organismos que se alimentan con sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos. Sintetizan sus propias sustancias a partir de elementos inorgánicos tales como la luz, los minerales del suelo, el dióxido de carbono y el agua.
Sistema combinado de procesos de oxidación avanzada y tratamiento biológico para la remoción de contaminantes emergentes presentes en el agua residual de RTE causados por el uso de humectantes

La DQO corresponde una medida de las sustancias oxidables presentes en el agua. Se determina por medio de una valoración redox de una muestra con un oxidante químico fuerte como dicromato potásico o permanganato potásico en medio ácido. Las unidades en las que se expresa la DQO son $\text{mg de O}_2 \text{ L}^{-1}$ al igual que la DBO. Un agua residual urbana tiene valores de DQO entre 250 y 1000 mg L^{-1} (Álvarez, Maldonado, Gerth, & Kuschik, 2004). Al igual que la DBO la DQO en las industrias varía según las actividades, un agua residual RTE en una tenería tiene una DQO aproximada de 3,200 mg L^{-1} (Ibargüengoitia, 2014).

El valor de la DQO es mayor que el de la DBO pues el oxidante utilizado en la determinación es producido por una reacción estequiométrica lograda mediante un oxidante que reacciona mucho más rápido que el oxígeno y por lo tanto oxida un mayor número de sustancias permitiendo efectuar la prueba en tiempos más cortos que la DBO. Generalmente se utiliza la relación DBO/DQO para estimar la biodegradabilidad de un agua residual; para relaciones DBO/DQO superiores a 0.4, el agua puede considerarse biodegradable, mientras que las aguas con relaciones DQO/DBO inferiores a 0.2 son básicamente no biodegradables.

Los Sólidos Suspendidos Totales indican la cantidad de sólidos (medidos en mg/L) presentes en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como filtración, por ejemplo. El incremento de los niveles de SST en un cuerpo de agua incrementa su turbidez, impidiendo el desarrollo de la vegetación y afectando al resto de su biodiversidad. (SEMARNAT, 2014)

En el caso de las Grasas y Aceites, al tratarse de líquidos más densos que el agua e inmiscibles con ella se difunden en la superficie cubriendo grandes extensiones de agua. Además de producir un impacto negativo en la estética del agua, disminuyen el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar afectando la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. En plantas de tratamiento de aguas dificulta el paso del oxígeno provocando complicaciones en la limpieza de las mismas.

Los cuerpos de agua, por ejemplo, un río o un lago, en su trayectoria natural y en ausencia de perturbaciones artificiales, alcanzan concentraciones de oxígeno disuelto próximo a la saturación que están en equilibrio con la vida acuática. El oxígeno lo consumen los organismos vivos y lo producen las plantas verdes durante el día. Una de las primeras manifestaciones del efecto de la contaminación de las aguas es la disminución de la concentración de oxígeno disuelto (eutrofización) ya que éste es utilizado por los microorganismos que proliferan en las aguas contaminadas impidiendo así el desarrollo de la vida de especies superiores, no solo por el déficit de

oxígeno, también puede ser causa de infecciones producidas por la población microbiana. Lo anterior provoca que la remoción de contaminantes emergentes sea deficiente y, en algunos casos se torne tóxica.

En las últimas décadas, se han incrementado los niveles de contaminación de aguas. De acuerdo con el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del 2017 (ONU, 2017) la tendencia de las concentraciones de BDO en los ríos de México entre 1990-1992 y 2008-2010 es creciente y/o presenta una tendencia creciente de especial preocupación (Figura 6)

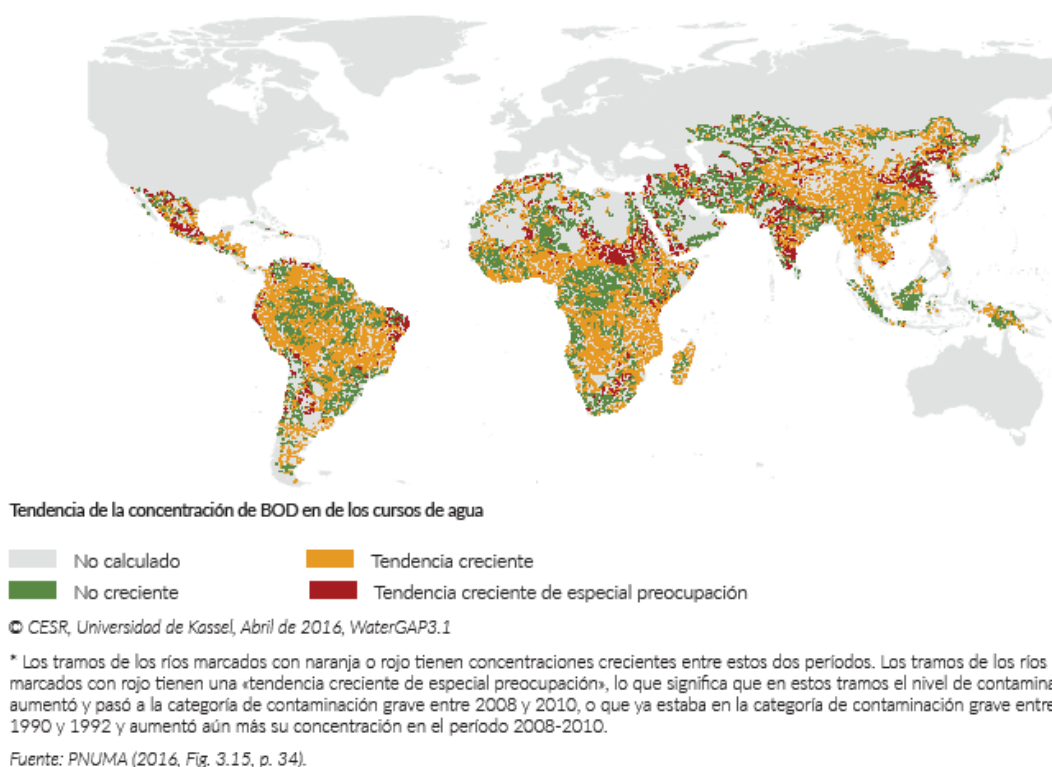


Figura 6 Tendencia de las concentraciones de DBO en los ríos entre 1990-1992 y 2008-2010.
Tomada de: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017

1.3.3. Presencia de contaminantes emergentes en el proceso de curtido

La presencia de contaminantes emergentes no es algo nuevo, el término contaminantes emergentes no corresponde necesariamente a algo nuevo, sino que también puede referirse a sub-productos de los cuales se desconocen sus efectos adversos en el ecosistema.

Entonces, los contaminantes emergentes podrían definirse como contaminantes que no están incluidos en los programas rutinarios de monitoreo y los cuales pueden ser candidatos para el establecimiento de futuras normas y reglamentos dependiendo de su nivel de toxicidad y los daños potenciales a la salud que puedan representar (Barceló & Petrovic, 2009).

Los datos que se conocen de este tipo de compuestos son muy limitados, ya que no existen cifras estadísticas de las concentraciones en las que se encuentran, sus efectos a largo plazo, niveles máximos de exposición, ni tampoco existen normativas sobre ellos. Hay una gran variedad de contaminantes de este tipo que pueden provenir de los residuos farmacéuticos, los productos de cuidado personal, la fabricación de químicos para la industria agrícola y los tensoactivos y humectantes.

Para la mayoría de los contaminantes emergentes no hay información disponible sobre el riesgo que presentan para los humanos y para el medio ambiente. Algunos de los efectos causados a la salud humana por este tipo de compuestos son: cáncer, problemas reproductivos, deterioro neurológico y alergias. (Undiano, Arroyo, & Ayala, 2017) En cuanto a los daños causados al medio ambiente, los contaminantes emergentes impactan en la toxicidad de las aguas residuales dificultando su tratamiento.

Se consideran tres componentes para clasificar un químico como un contaminante peligroso:

1. Persistencia. Estabilidad estructural del compuesto manteniéndose presente por largos periodos de tiempo en el ambiente.
2. Lipofilidad. Su bioconcentración y posible biomagnificación en la cadena alimenticia.
3. Prueba de toxicidad crónica.

Para efectos de este proyecto se revisarán datos de contaminantes emergentes causados por humectantes debido a que en el proceso de Recurtido, Teñido y Engrase se emplean tensoactivos y humectantes, ya sea para la limpieza de las pieles, la penetración de productos químicos en ellas o la saponificación de las grasas presentes en las pieles.

Los humectantes se emplean en la industria y producen contaminantes con un gran potencial para adentrarse en el medio ambiente, es decir, los sub-productos o contaminantes emergentes de los humectantes se pueden desplazar fácilmente pasando de un sistema natural a otro. Son ampliamente utilizados en la industria, son añadidos a cosméticos, pinturas, pesticidas, detergentes y productos de limpieza. De estos productos se derivan los contaminantes emergentes del tipo sulfonato alquilbenzeno los cuales son cadenas bencénicas con un grupo sulfónico ionizado (SO_3^-) y una cadena alquílica lineal de entre 10 y 13 átomos de carbono que puede estar unida al benceno de distintas posiciones (Flores-Nunes, y otros, 2015). (Figura 7)

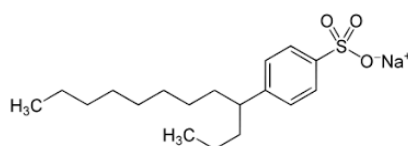


Figura 7 Estructura molecular de Sulfonato Alquilbenzeno

Los sulfonato alquilbenzenos tienen características hidrofóbicas y se acumulan tanto en los sedimentos de las aguas como en el tejido biológico, son nocivos en caso de ingestión y causan daño a los ojos.

Los contaminantes emergentes del tipo alquilfenolpolietoxilado por otro lado, pertenecen a una familia de compuestos muy complejos, formados por un anillo fenólico que contiene un radical alquilo unido a una cadena lateral de grupos etoxilo. La longitud de la cadena lateral puede variar entre 1 y 50 grupos etoxilo (Badillo, Cortázar, Hipólito, Pérez, & Sánchez, 2010) (Figura 8) Los más comunes son el etoxil-p-nonilfenol y el etoxil-p-octilfenol, empleados como detergentes.

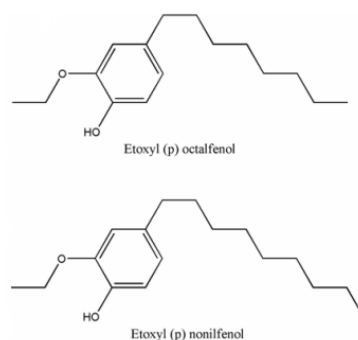


Figura 8 Estructura molecular de etoxil-p-nonilfenol y el etoxil-p-octilfenol

Estos contaminantes son tóxicos para peces y especies acuáticas, se evaporan y filtran fácilmente lo que provoca que se dispersen fácilmente en el ambiente, llegan a puertos y huertos integrándose a la cadena alimenticia de manera silenciosa. Los alquifenolpolietoxilados se consideran recalcitrantes a concentraciones de 300 mg/L (C. Planasa, y otros, 2002).

1.3.4. Tecnologías de oxidación avanzada y de tratamiento biológico para eliminar contaminantes emergentes

Debido a la complejidad de los contaminantes del tipo sulfonato alquilbencenos y del tipo alquifenolpolietoxilado las tecnologías para tratar las aguas contaminadas continúan renovándose en investigación y desarrollo con nuevas aportaciones de materiales e instrumentación que mejoran los procesos de descontaminación existentes (Peña, 2017). Una de las opciones para eliminar los contaminantes emergentes son los Procesos de Oxidación Avanzada (AOP's) combinados con procesos biológicos empleados generalmente en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Los AOP's son tecnologías recientes que se han investigado en las últimas décadas y han sido aplicadas en aguas residuales industriales para cumplir con los cada vez más exigentes parámetros de cuidado ambiental establecidos por las autoridades. (Dewila, Mantzavinos, Poulios, & Rodrigo, 2017). Se ha demostrado que las AOP's son útiles para la remoción o degradación de contaminantes tóxicos o utilizado como pre-tratamiento para convertir contaminantes emergentes en compuestos biodegradables que posteriormente pueden ser tratados con métodos convencionales de tratamiento convencionales. La eficiencia de las AOP's depende de la generación de radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) durante el proceso.

Los radicales hidroxilo son muy reactivos y poco selectivos, lo que significa que pueden oxidar y descomponer una gran cantidad de compuestos peligrosos. Estos radicales reaccionan ya sea mediante la atracción de hidrógenos o rompiendo enlaces dobles de los compuestos logrando así la descomposición de los contaminantes, las reacciones químicas pueden generar productos intermedios o llevar a los componentes hasta su estado final como HCO_3 , Cl , NO_3 CO_2 o H_2O .

La oxidación de compuestos orgánicos se puede ponderar de la siguiente manera:

1. Degradación primaria. Significa un cambio estructural de los componentes.
2. Degradación satisfactoria. Una degradación primaria que reduce la toxicidad de los componentes o los lleva desde no-biodegradables hasta degradables.
3. Mineralización completa. Los compuestos orgánicos son transformados en CO₂ y H₂O.
4. Degradación deficiente. Existe un cambio negativo en los componentes de tal manera que representan un mayor nivel de toxicidad para el agua.

Existen diferentes tipos de Procesos de Oxidación Avanzada: radiación, fotólisis y fotocátalisis (UV/O₃, UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/O₃) sonolisis (US, US/O₃, US/H₂O₂ y US/fotocátalisis), oxidación electroquímica (Oxidación anicónica y fotoelectrocátalisis), reacción de Fenton y con base ozono. Este tipo de tecnología puede remover compuestos aromáticos, pinturas, humectantes, compuestos farmacéuticos y pesticidas (Long & Xu, 2012). La aplicación de las distintas tecnologías depende de los contaminantes tóxicos presentes en las aguas residuales industriales. Para este proyecto se estudiarán las AOP's tipo Fenton como alternativa para la eliminación de contaminantes emergentes del tipo sulfonato alquilbenceno y del tipo alquilfenolpolietoxilado.

El sistema Fenton genera radicales •OH mediante una reacción con una sal de hierro en medio ácido. Este sistema es considerado uno de los procesos más efectivos para la oxidación de contaminantes orgánicos persistentes. De acuerdo con la bibliografía, esta reacción se optimiza cuando el medio se encuentra a un pH de 2.5-3.0 (Hernández, 2012). El número de radicales formados mediante esta oxidación está dado por reacciones cíclicas que ocurren al interior del tanque, en estas reacciones el hierro (Fe²⁺) es combinado con peróxido (H₂O₂) (Reacción 1) el cuál se regenera mediante la oxidación de Fe³⁺ con H₂O₂ iniciando así el ciclo de reacciones para la liberación de radicales (Reacciones 2-5). De este ciclo de reacciones se pueden derivar las ecuaciones finales del proceso de oxidación, reacción 6 y 7.





La descomposición de contaminantes orgánicos se logra ya sea mediante la extracción de Hidrógeno (H) de las uniones Carbono-Hidrógeno (C-H), Nitrógeno-Hidrógeno (N-H) u Oxígeno-Nitrógeno (O-N) por parte del $\cdot OH$ o mediante la adición de estos radicales a enlaces dobles Carbono=Carbono (C=C) del anillo aromático. El potencial de oxidación de compuestos depende de la capacidad de ionización de los contaminantes orgánicos. (Long & Xu, 2012).

En cuanto a las plantas tratadoras, estas pueden dividirse en 4 etapas de: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

En el pretratamiento se remueve toda la basura y las partículas de tamaño grande que puedan interferir para el tratamiento de las aguas o que pueda obstruir las tuberías, para lograr esto existen tamices, rejillas, micro filtros, hidrocribas y desarenadores. Durante el tratamiento primario se elimina una gran parte de los sólidos suspendidos, esto se puede lograr con o sin la ayuda de reactivos u otros tipos de oxidación química para facilitar su precipitación al interior de un tanque séptico, estos reactivos son denominados coagulantes. Este proceso puede ser llevado a cabo en sedimentadores primarios, estos tanques pueden ser rectangulares o circulares en los que se lleva a cabo una separación de las partículas que tengan una densidad diferente a la del agua, tal es el caso de las GyA y los SST. Las GyA se separan en la parte superior del tanque mientras que los SST por la parte inferior. Esta separación permite una remoción aproximada de 60% del contenido total de SST y un 30% de carga orgánica (Aranda, 2006).

El tratamiento secundario se emplea para eliminar la contaminación orgánica disuelta, este proceso consta de una oxidación aerobia o anaerobia de la materia orgánica, en el caso de la oxidación aerobia se emplean reactores y para la oxidación anaerobia digestores cerrados. Algunos de los sistemas aerobios para el tratamiento aguas residuales son los reactores secuenciales (SBR), los reactores de biomembrana (MBR), los contadores bilógicos (CBR) o biodiscos y los filtros percoladores. Para efectos prácticos de este trabajo se estudiarán los SBR.

Los reactores secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio en el que se propicia la presencia de oxígeno. En este tipo de reactores se lleva a cabo tanto la aeración de la mezcla como su clarificación, esto representa

una ventaja para su aplicación. Otras de las ventajas de los SBR son la facilidad para el control de la operación, la buena flexibilidad ante fluctuaciones de caudal y concentración de las aguas residuales y los buenos resultados obtenidos en el tratamiento.

Los reactores secuenciales constan de al menos cuatro procesos cíclicos:

1. Llenado. En esta fase se introduce el agua al sistema, puede ser estática o dinámica si se produce durante el periodo de reacción.
2. Reacción. Durante esta etapa el agua residual es mezclada mecánicamente para eliminar posibles espumas superficiales y preparar a los microorganismos para recibir el oxígeno. En esta misma etapa se inyecta el aire al sistema. Los resultados del proceso de reacción varían según su duración. Los tiempos de retención y cargas varían con cada reactor y depende en gran medida de la carga de agua residual específica de cada una. En términos generales un sistema SBR trabaja con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 1 a 10 días y un tiempo de retención celular de 10 a 15 días. El tiempo de retención hidráulico se refiere al tiempo total que permanecerá el agua dentro del SBR mientras que el tiempo de retención celular es el tiempo de residencia de los lodos dentro del sistema.
3. Decantación. Este ciclo genera las condiciones de reposo en el tanque para que los lodos se puedan decantar
4. Vaciado. Esta es la última fase, aquí es retirada el agua del tanque. Se pueden depurar los lodos generados para mantener la misma concentración de estos dentro del tanque. La concentración de sólidos en suspensión del licor de mezcla (SSLM) suele encontrarse alrededor de 1,500 y 5,000 mg/L (Aranda, 2006).

NOTA: El control general del proceso puede ser llevado a cabo automáticamente utilizando sensores/temporizadores.

Por último, el tratamiento terciario no aplica técnicas diferentes a los tratamientos primarios y secundarios, sino que utiliza técnicas de los dos tipos para afinar las características del vertido final (Vázquez, Méndez, & Carrillo, 2017).

En las aguas residuales con características para ser tratadas biológicamente y que son sometidas a procesos de tipo aerobio se consigue una eficaz mineralización de la materia orgánica (Paz, 2002). El mecanismo más importante para la remoción de la contaminación orgánica presente en el agua residual es el metabolismo bacteriano, el cual consiste en la utilización de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada,

parte de ella es transformada químicamente en productos finales, este proceso resulta en la liberación de energía y se denomina catabolismo (Campbell & Reece, 2007).

Otro proceso denominado anabolismo ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular. El anabolismo es un proceso que consume energía, solamente se puede llevar a cabo si el catabolismo está ocurriendo para proporcionarle la energía necesaria para la síntesis celular. El catabolismo sólo es posible si existe la presencia de una población bacteriana viva (Paz, 2002).

El catabolismo se divide en procesos diferentes:

1. Catabolismo oxidativo. Reacción redox en donde la materia orgánica es el reductor que es oxidado por un oxidante. En la práctica ese oxidante puede ser el oxígeno, nitrato o sulfato.
2. Catabolismo fermentativo. Se caracteriza por el hecho de no haber presencia de un oxidante. El proceso resulta en un reordenamiento de los elementos de la molécula fermentada de un modo tal que se forman como mínimo dos productos.

El metabolismo bacteriano se puede dar en condiciones tanto anaerobias como aerobias:

La digestión anaerobia es un proceso que se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y CO_2 , en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas. La digestión anaerobia se produce en la naturaleza en lugares como los sedimentos de lagos y mares, zonas anóxicas del suelo, efluentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes (Díaz-Báez, 2002).

Para que ocurra la digestión anaerobia no debe haber presencia de oxidantes, como el oxígeno en el caso de la digestión aerobia. La digestión anaerobia es un proceso de transformación de la materia orgánica, no de destrucción. A falta de un oxidante la mayor parte de la energía permanece como energía química en el metano producido (Paz, 2002).

La degradación anaerobia requiere de la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados

por cada grupo. La digestión anaerobia involucra cuatro pasos de transformación y tres grandes grupos tróficos (Díaz-Báez, 2002).

1. Hidrólisis

Grupo I: bacterias hidrolíticas

Estas bacterias llevan a cabo las reacciones de hidrólisis y acidogénesis. Son anaerobias facultativas y los géneros más frecuentes son los miembros de la familia *Enterobacteriaceae*, *Bacillus*, *Peptostreptococcus*, *Pronibacterium*, *Bacteroides*, *Micrococcus* y *Clostridium*.

2. Acidogénesis

Grupo I: bacterias fermentativas

Pertenecen al mismo grupo que las bacterias de hidrólisis.

3. Acetogénesis

Grupo II: bacterias acetogénicas

La oxidación de los productos de fermentación es llevada a cabo por un grupo de bacterias denominado Organismos Acetógenos Productores Obligados de Hidrógeno (OHPA). Aunque la mayoría de este tipo de reacciones consume energía, en ambientes anaerobios, donde es muy poca la energía disponible, se logra un acoplamiento entre la actividad de las bacterias OHPA con las bacterias consumidoras de hidrógeno que permite un balance energético favorable.

4. Metanogénesis

Grupo III: bacterias metanogénicas

Estas bacterias pertenecen al grupo actualmente conocido como *Archaea*. Estas bacterias son anaerobias estrictas y producen metano como principal producto del metabolismo energético. A su vez, las bacterias metanogénicas se subdividen en tres grupos:

- Grupo 1. Utiliza como fuente de energía el Hidrógeno formando ciertos alcoholes, el CO₂ es el aceptor final de electrones el cual es reducido a metano.
- Grupo 2. Utiliza una amplia variedad de compuestos que tienen el grupo metilo. Algunas de las moléculas son oxidadas a CO₂, el cual actúa como aceptor final de electrones y se reduce directamente a metano.
- Grupo 3. Los géneros de bacterias *Methanosarcia* y *Methanosepta* son las encargadas de catabolizar el acetato y promover la generación de metano.

El proceso de digestión anaerobio inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del grupo I. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular y posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como: ácido acético, fórmico, propiónico y butírico. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del grupo II, las cuales son conocidas como bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno. Finalmente, las bacterias del grupo III convierten al acetato a metano y CO_2 o bien, reducen el CO_2 a metano. Esta transformación involucra dos grupos de bacterias metanogénicas: acetotróficas e hidrogenotróficas (Díaz-Báez, 2002).

Por otro lado, en el metabolismo aerobio se llevan a cabo procesos catabólicos, estos se caracterizan por tener al oxígeno como aceptor final de electrones. Durante este proceso se logra la oxidación total de toda la materia orgánica. A diferencia del metano producido en el catabolismo anaeróbico el cual contiene energía química, los productos de las reacciones generadas durante el metabolismo aerobio no contienen energía ya que toda es utilizada para el transporte de electrones.

Los tres principales estados de la respiración celular son la glicólisis, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones. La glicólisis, produce sólo una pequeña cantidad de energía. Durante el ciclo de Krebs se libera un poco más de energía del Ácido Pirúvico. La cadena de transporte de electrones produce la mayor parte de la energía en la respiración celular usando como productos los electrones de la glicólisis y del ciclo de Krebs y el oxígeno como aceptor final para esos electrones. Las vías que requieren de oxígeno son el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones (ambos tienen lugar en la mitocondria). La glucólisis es un proceso anaeróbico, sin embargo es considerado parte de la respiración celular (tiene lugar en el citoplasma de las células) (Miller & Levine, 2009).

En las reacciones del metabolismo bacteriano hay sustancias que ceden electrones (dadoras) y otras que los reciben (ceptoras). La etapa final de la respiración aeróbica se lleva a cabo en la mitocondria de las células eucariotas. La composición de las cadenas de transporte de electrones está conformada por cinco estructuras de proteínas:

1. Complejo I (coenzima-NADH oxido reductasa Q). La coenzima reducida NADH se une al Complejo I y se lleva a cabo la reducción de la coenzima Q10.
2. Complejo II (Succinato-Q). Este complejo forma un segundo punto de entrada a la cadena de transporte de electrones.
3. Complejo III (Q-citocromo c oxidorreductasa). Este complejo lleva a cabo la oxidación del ubiquinol y la reducción de dos moléculas de citocromo-c.
4. Complejo IV (Citocromo c oxidasa). Este complejo lleva a cabo la transferencia final de los electrones al oxígeno.
5. Sintasa ATP. Este complejo hace uso del potencial de protones creado por la cadena de transporte de electrones.

Dado a que este tipo de catabolismo requiere la presencia de un oxidante (oxígeno) de la materia orgánica que normalmente no está presente en las aguas residuales, requiere de ser introducido mediante difusores de aire. La forma más efectiva de introducir el oxígeno es mediante la aireación mecánica, esto implica altos costos operacionales en el sistema de tratamiento. Adicionalmente, la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado posteriormente.

Cuando los contaminantes emergentes se encuentran en altas concentraciones y en un caso dado inhiben la actividad enzimática del biorreactor reduciendo la eficiencia de las bacterias para eliminar contaminantes, tanto emergentes como de otro tipo, entonces, estos permanecen en las aguas o sedimentan con los lodos residuales, trayendo como consecuencia el aumento de los niveles de contaminación liberados al ambiente. Con este proyecto de investigación se pretende ofrecer una alternativa para asegurar la remoción de contaminantes emergentes en las aguas residuales de una tenería y por ende, otros contaminantes presentes resultantes del proceso en cuestión.

Capítulo 1.

1.4. Metodología

1.4.1. Adquisición de conocimiento sobre los contaminantes emergentes procedentes del uso de tensoactivos/humectantes para conocer los efectos negativos que tiene un tratamiento ineficiente de las aguas residuales que los contienen.

Una vez determinado el objeto de estudio se llevó a cabo un proceso de investigación con el fin de localizar información concreta y de fuentes confiables acerca de los contaminantes emergentes que se generan debido al uso de tensoactivos. Esta investigación se realizó visitando distintos sitios de internet, en revistas electrónicas, libros, artículos, reportes y de más escritos que resultaran útiles para la recopilación de datos referentes al tema. Se emplearon las bases de datos del CONRICyT en donde se obtuvo el acceso a publicaciones de editoriales como EBSO, Taylor & Francis y Springer.

Toda la información recopilada en esta etapa del proceso fue evaluada con el fin de filtrar los datos obtenidos y refinarlos a detalle para encontrar respuestas a las incógnitas que este proyecto pretende resolver. Derivado de esta investigación se obtuvieron datos interesantes del tipo de contaminantes generados por el uso de humectantes como: su nombre, comportamiento en medio acuoso, daños al ambiente y a los seres vivos y concentraciones inhibitorias a partir de las cuales se consideran contaminantes recalcitrantes. Se encontraron artículos, boletines informativos, libros y disertaciones con los que se realiza la siguiente métrica (Tabla 1)

Búsqueda	No. total de resultados	No. de resultados en ciencias ambientales
Compuestos humectantes	4,398	1,186
Compuestos humectantes y contaminantes emergentes	334	164
Contaminantes emergentes de compuestos humectantes y daño ambiental	500	175
Contaminantes emergentes de compuestos humectantes y tratamiento biológico	1,462	628
Contaminantes emergentes de compuestos humectantes y Procesos de Oxidación Avanzada	487	153

Tabla 1 Métrica de datos de la investigación de contaminantes emergentes provenientes del proceso de RTE en GST Manufacturas de México

1.4.2. Selección de la tecnología más adecuada para la remoción de contaminantes emergentes resultantes de tensoactivos/humectantes para obtener los requisitos bajo los cuales se debe realizar la propuesta de tratamiento.

De acuerdo con la investigación bibliográfica derivada del punto anterior se buscó sobre las posibles tecnologías disponibles para remover contaminantes del tipo sulfonato alquilbenceno y alquilfenolpolietoxilado. Se consultaron diversas fuentes para comparar distintos tipos de tecnologías que tuvieran una eficiente remoción de este tipo de compuestos.

La información sobre el funcionamiento y métodos de operación de los distintos sistemas para el tratamiento ayudó a determinar cuáles son las mejores opciones para la implementación de una planta tratadora de agua dentro de GST Manufacturas de México. Una vez realizada la búsqueda se seleccionaron las dos tecnologías más afines para las necesidades de dicha empresa.

1.4.3. Elaboración de propuesta de tratamiento para la eliminación de contaminantes emergentes causados por el uso de tensoactivos/humectantes en el proceso de RTE en GST Manufacturas de México

Con el fin de proponer el tren de tratamiento de aguas residuales que más se ajuste a las condiciones en las que se encuentra GST Manufacturas de México, se revisaron datos de producción y uso de agua en la planta de RETAN así como métodos de separación de lodos residuales. Los datos obtenidos en GST se muestran a continuación en la figura 9:

Descripción	2017	2018												2019
	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.
Total de cueros procesados en los tambores de recurtido (Unidades)	143023	152669	167933	188198 ⁽¹⁾	168128	170916	171987	139231	188278	137934	130526	139942	119920	104908 ⁽²⁾
Consumo de Agua (m3/mes)	22470	23986	26384	29568	26414	26852	27021	21874	29580	21671	20507	21986	18841	16482

Figura 2 Consumo de agua en GST en m3 por cantidad de cuero procesada mensualmente

De acuerdo con los datos anteriores se determinó el caudal máximo (1), mínimo (2) y promedio como $0.01141\text{m}^3/\text{s}$, $0.0064\text{m}^3/\text{s}$ y $0.0092\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente.

1.4.4. Elaboración de un cronograma de actividades

Este tipo de proyectos requieren de tiempo y muchos recursos para ser llevados a cabo. Es por eso que no se puede realizar en una sola etapa y se deben programar actividades posteriores a las que se presentan en este trabajo de investigación. De esa manera se podrá lograr una continuidad del proyecto. Estas actividades se definieron en base a las necesidades que cada uno de los elementos (sistemas de tratamiento) requieren para la remoción de contaminantes emergentes de las aguas residuales de GST Manufacturas de México.

El cronograma de actividades elaborado contiene tareas a realizar en la siguiente fase del proyecto. Con ayuda de este cronograma se espera que GST pueda mejorar su Sistema de Gestión Ambiental y contribuya con el cuidado del planeta, mediante este conjunto de actividades se pretende también abrir la puerta a tecnologías del cuidado ambiental y procedimientos más limpios en las prácticas diarias de GST.

Capítulo 2.

1.5. Resultados

1.5.1. Recopilación de información bibliográfica acerca de los contaminantes emergentes procedentes del uso de tensoactivos/humectantes para conocer los efectos negativos que tiene un tratamiento ineficiente de las aguas residuales que los contienen.

Los contaminantes provenientes de los tensoactivos empleados en RTE forman espumas persistentes en las aguas de las plantas depuradoras, impidiendo el paso de oxígeno disminuyendo sus niveles drásticamente. Una gran parte de los sulfonatos de alquilbenceno es absorbida por los lodos residuales mismos que no son degradados por el proceso anaeróbico generalmente empleado en la estabilización de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Mackay, Di Guardo, Paterson, Kicsi, & Cowan, 1996). En consecuencia pasan al ambiente directamente cuando se dispone de los lodos. – Los compuestos alquilfenolpolietoxilados, al igual que los sulfonatos de alquilbenceno, son resistentes a la degradación biológica.

Una vez depurados los lodos son parcialmente degradados aeróbicamente de manera natural, este proceso toma tiempo y debido a que las concentraciones han aumentado al paso del tiempo el daño continúa progresando y a su vez retrasando el proceso de biodegradación. Esto pudiera evitarse si se emplearan dosis menores a la IC_{50} en los digestores anaeróbicos. Está demostrado que bajo esas concentraciones las bacterias son capaces de eliminar los agentes tensoactivos presentes en las aguas residuales (Badillo, Cortazar, Hipólito, Pérez, & Sánchez, 2010). La biodegradación de compuestos del tipo sulfonatos alquilbenceno, por ejemplo, conlleva dos mecanismos. La degradación primaria, la cual oxida la cadena alquil resultando en sulfofenil (di) carboxilatos y la biodegradación final, en la cual se fracciona el anillo de fenilo y se remueve el grupo sulfonato. Finalmente es convertido a CO_2 y H_2O , sales orgánicas y biomasa (Mehrvar & Tabrizi, 2006).

1.5.2. Selección de la tecnología más adecuada para la remoción de contaminantes emergentes resultantes de tensoactivos/humectantes para obtener los requisitos bajo los cuales se debe realizar la propuesta de tratamiento.

1. Sistemas con reactores aerobios

Una de las alternativas para promover la degradación de los agentes tensoactivos es adicionar bacterias previamente cultivadas en el laboratorio capaces de mineralizar estos contaminantes para así tratar con mayor rapidez y eficacia los lodos contaminados. Se ha demostrado que bacterias como las *Pseudomonas nitroreducens* y las *Pseudomonas aernitroreducens* son capaces no sólo de degradar sulfonatos de alquilbenceno, sino que también hidrocarburos y pesticidas (Jisha, 2012). Esto brinda una gran ventaja ya que los contaminantes se encuentran mezclados unos con otros en el ambiente y no de manera individual.

Al incrementar la concentración de estos productos humectantes en los reactores que tratan los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas municipales se reduce la actividad microbiana, esto se debe a varios factores tales como el pH, la biodisponibilidad y/o la interferencia de sus funciones bioquímicas (Figuroa, Miller, & Dawson, 1997). El pH promedio para evitar la inhibición de las bacterias se encuentra entre 7 y 8, a pHs menores de 7 se pudiera reducir el índice de remoción de contaminantes del tipo alquilfenolpolietoxilado y del tipo sulfonato alquilbenceno.

La biodisponibilidad de estos productos para ser degradados por bacterias depende de su concentración en el medio. Si se presentan concentraciones arriba de la IC_{50} las bacterias no serán capaces de descomponerlos y quedarán presentes en los lodos. Por otro lado, los humectantes también interfieren con la actividad microbiana de los reactores en dosis altas. Los humectantes pueden interactuar con las proteínas formando complejos que afectan la habilidad de las bacterias para degradarlos. Esto puede resultar en una ligera alteración de la permeabilidad de sus membranas, inhibición/modificación de la actividad enzimática, no al grado de alterar la membrana significativamente ni dejar a las bacterias incapaces de realizar sus funciones, pero sí de afectar la efectividad del método de descontaminación.

Los efectos causados por compuestos de este tipo se pueden reducir al disminuir las concentraciones de los mismos dentro de los medios de tratamientos, una de las formas más sencillas de hacerlo es la dilución del contaminante.

Los procesos biológicos para la remoción de contaminantes son un método efectivo y económico para limpiar las aguas, sin embargo, en las aguas residuales industriales existen muchos tipos de contaminantes no-biodegradables y/o resistentes a la actividad bacteriana. Es importante entonces, introducir otro tipo de tecnologías de apoyo para asegurar la remoción de estos contaminantes y a su vez brindarle, a las bacterias los nutrientes necesarios y las condiciones adecuadas dentro del medio en el que se desenvuelven para que la remoción sea óptima, no sólo de los contaminantes regulados por la ley, sino también de otros contaminantes presentes. De esa manera se aseguraría la reducción de las características que hacen al lodo un residuo peligroso y por consiguiente se reduciría de igual forma el riesgo ambiental.

2. Procesos de Oxidación Avanzada

Las AOP's tienen como ventaja principal de poder eliminar los contaminantes de tal manera que no sean transferidos a otro medio ni representen daños secundarios al disponer de los residuos mediante una oxidación (Tabrizi, 1994). Los oxidantes más comunes son H_2O_2 , O_3 y O_2 , estos involucran la generación del radical hidroxilo ($\bullet OH$) (Guzmán & Hernández, 2015) en grandes cantidades, este mismo resulta muy efectivo para la oxidación de la materia orgánica, en especial aquella que no es biodegradable.

Los procesos de oxidación avanzada reducen las concentraciones de contaminantes y algunas veces logran la oxidación de más productos de los esperados generando una mayor biodegradabilidad de los contaminantes. Este tipo de tecnologías destruyen químicamente los contaminantes hasta su mineralización y si se combinan con métodos biológicos se obtiene un rendimiento mayor (Foreto, Ortiz, & Ríos, 2005).

Una de las AOP's que son efectivos para la remoción de contaminantes del tipo alquifenolpolietoxilado y del tipo sulfonato de alquilbenceno son sistemas Fenton. Estas tecnologías sirven como soluciones para tratar los contaminantes mencionados anteriormente al eliminar los compuestos tóxicos generados por los detergentes, sin embargo, mineralizar por completo estas sustancias empleando únicamente AOP's resulta muy costoso (Guzmán & Hernández, 2015). Es por eso que para optimizar los procesos de descontaminación de aguas residuales y reducir costos de inversión y mantenimiento se recomienda una mezcla entre este tipo de tecnologías oxidativas y tecnologías de tratamiento biológico. El tratamiento de agua residual combinando estos dos tipos de tecnología permite reducir las concentraciones de contaminantes tanto como se desee y explotar las cualidades individuales de cada uno de los procesos.

Las AOP's pueden representar un costo elevado, es necesario conocer bien las características del agua para determinar si el tratamiento fotoquímico es necesario o si el agua puede ser tratada de manera biológica sin ayuda de las AOP's (Hernández, 2012). Debido a que las aguas residuales de tenerías se consideran tóxicas, inhibitorias y poco biodegradables (Tabrizi, 1994) se recomienda el uso de AOP's para ayudar a un mejor saneamiento del agua residual y contribuir al cuidado del medioambiente mediante la implementación de medidas de descontaminación de aguas residuales.

Es importante mencionar que las dosis de reactivos a utilizar en las AOP's con reacciones Fenton juegan un papel crítico en el tratamiento de compuestos tóxicos. Se debe hacer un estudio y pruebas con muestras de las aguas residuales que serán tratadas con estos Procesos de Oxidación Avanzada para tener la certeza de que se obtendrán remociones de contaminantes esperadas. Cabe destacar que cada agua residual es diferente y debe ser tratada de acuerdo a las condiciones en las que se presente y a la calidad de agua que se quiera obtener al final del tratamiento.

1.5.3. Elaboración de tratamiento para la eliminación de contaminantes emergentes causados por el uso de tensoactivos/humectantes en RTE en GST

De acuerdo con los datos obtenidos de GST Manufacturas de México y sus posibilidades para implementar un proyecto de tratamientos de aguas residuales del proceso de RTE, se presentan las soluciones más factibles para el plan de saneamiento de aguas residuales de dicha empresa. De acuerdo con la autoridad correspondiente, el centro de trabajo está obligado a realizar análisis a sus aguas residuales y reportarlos ante las autoridades cuando estas así lo dispongan.

Con el propósito de incluir a GST en la lista de empresas que llevan a cabo prácticas de responsabilidad social se propone una planta tratadora de aguas residuales que consta de un tratamiento preliminar de rejillas seguido de un sedimentador primario, a continuación, un tratamiento biológico en un reactor secuencial SBR y por último un tratamiento terciario de oxidación avanzado usando sistemas Fenton $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$. El esquema general de la planta se muestra a continuación (Figura 10)

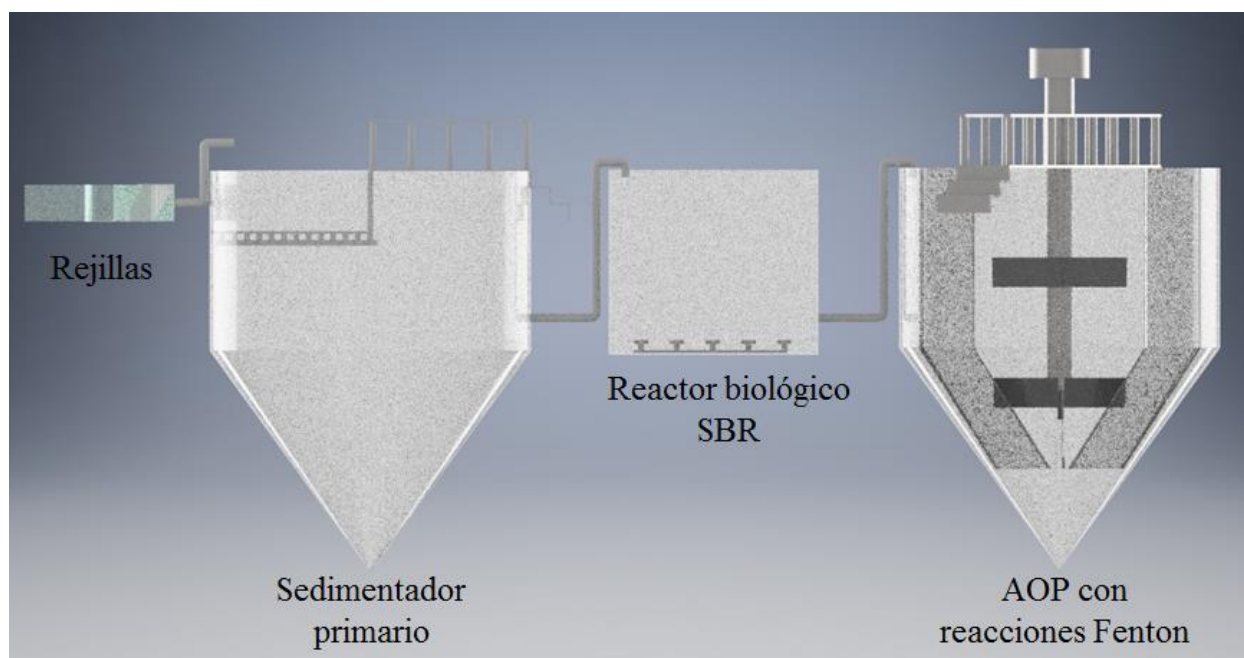


Figura 3. Propuesta de tren de tratamiento para la remoción de contaminantes emergentes y descontaminación de las aguas residuales de RTE proveniente en GST Manufacturas de México

1. Tratamiento preliminar

Sistema de rejillas

La función del sistema de rejillas es prevenir el paso de sólidos grandes o basura. Cuanto menor será la abertura libre, mayor será la cantidad de residuos eliminada. No existe una definición concreta que de detalle a este tipo de materiales separados con rejillas y tampoco existe un método reconocido (Metcalf & Eddy, 1998). Para separar esta basura se proponen rejas de limpieza manual para el pretratamiento del agua residual de RTE en GST Manufacturas de México.

De acuerdo con el libro de Ingeniería de Aguas Residuales Tomo 1 de Metcalf & Eddy Inc. Las características típicas de las rejas de limpieza manual son las siguientes:

1. Anchura de barra 5-15 mm
2. Separación entre barras 25-50 mm
3. Pendiente en relación a la vertical 25-50°

El sistema de pretratamiento con rejillas está formado por dos canales con una separación de 1m entre canales, esta separación es dada para llevar a cabo el mantenimiento del sistema de rejillas cuando así lo requiera. La apertura entre barras será de 30 mm, valor medio entre los rangos establecidos y un ancho de barra de 10mm ya que de acuerdo con la bibliografía el ancho de las

barras no suele exceder los 10 mm y una profundidad de 50 mm con una altura de 0.5 m. Se propone una pendiente de 35°, un valor intermedio entre los parámetros dados.

Recordemos que el caudal máximo de GST es de 0.01141 m³/s y tiene una velocidad de aproximación de 0.055 m/s de acuerdo con experiencias pasadas en proyectos referentes a aguas residuales en GST esta es la velocidad a la cual el flujo de agua deja suficiente superficie de reja para la acumulación de residuos. Con estos datos es posible diseñar del sistema de rejillas de la siguiente manera.

1. Calculo del área del canal de llegada del sistema de rejillas (Fórmula. 1)

$$A = \frac{Q(\text{máx})}{V(\text{aprox})}$$

Donde:

A: área

Q: Caudal máximo

V: Velocidad de aproximación.

$$A = \frac{0.01141 \text{ m}^3/\text{s}}{0.055 \text{ m/s}} = 0.21 \text{ m}^2$$

2. Calculo del ancho del canal de llegada. (Fórmula. 2)

$$b = \frac{A}{h}$$

Donde:

b: ancho

A: área

h: altura

$$b = \frac{0.21m^2}{0.6 m} = 0.35 m$$

Se debe dividir ancho del canal y caudal entre dos ya que el sistema está conformado por dos rejillas. El área calculada con anterioridad representa el canal de llegada, al dividir entre dos los resultados obtenidos se tendrá el ancho y caudal de ambas rejillas de acuerdo al sistema propuesto.

$$\frac{Q_{max}}{2} = \frac{0.01141m^3/s}{2} = 0.00571m^3/s$$

$$\frac{b}{2} = \frac{0.35m}{2} = 0.175m$$

3. Calculo del ancho libre entre barras (Fórmula 3)

NOTA: A partir de aquí los cálculos equivalen a un solo canal.

$$\text{Ancho libre} = \text{ancho canal} \cdot \frac{e}{s + e}$$

Donde:

e= apertura entre barras

s= ancho de barra

$$\text{Ancho libre} = 0.35m \cdot \frac{0.01}{0.03 + 0.01m} = 0.25m$$

4. Calculo del área útil de las barras (Fórmula 4)

$$Area \text{ útil} = ancho \text{ libre} \cdot \frac{h}{\sin \theta}$$

Donde:

$\sin \theta$ = ángulo de inclinación de rejillas

$$Area \text{ útil} = 0.25m \cdot \frac{0.5m}{\sin 35} = 0.87m^2$$

5. Calculo del número de barras por canal (Fórmula 5)

$$\#barras = \frac{Ancho \text{ libre}}{e}$$

$$\#barras = \frac{0.25m}{0.01m} = 25 \text{ barras}$$

Las medidas del sistema de rejillas se muestran a continuación (Figura 11)

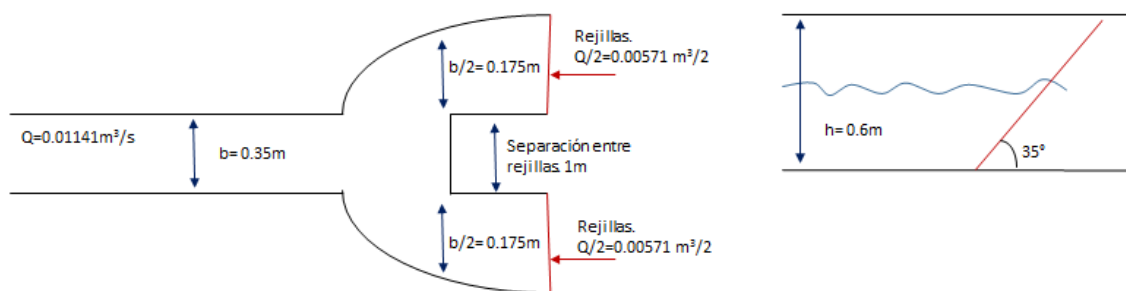


Figura 4 Dimensiones de canales con rejillas para el agua residual del proceso de RTE en GST Manufacturas de México

Las rejillas ayudarán a detener la basura para que esta no interfiera en el proceso de tratamiento de las aguas residuales, mientras menos basura presente el agua más fácil serán las actividades posteriores, en seguida se presenta un esquema de las rejillas (Figura 12).

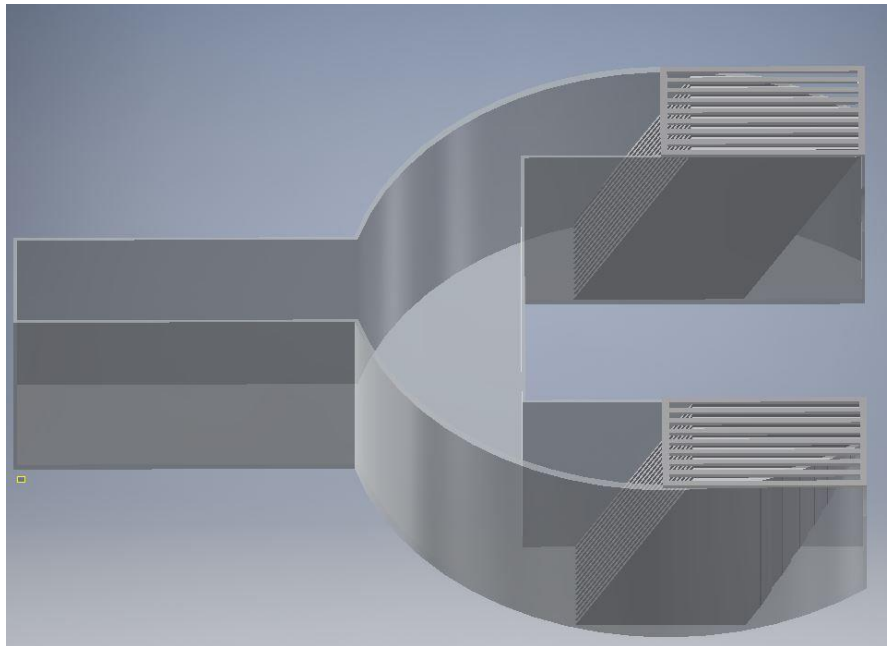


Figura 12 Representación gráfica del sistema de rejillas propuesto para GST Manufacturas de México

Mediante este proceso de pre-tratamiento se logrará la eliminación de los residuos grandes que son arrastrados con el agua y que, muchas veces generan taponamientos de tuberías dentro de las mismas instalaciones de la empresa. Con esto se preparará el agua para su posterior tratamiento y también se evitarán problemas de desbordamiento y posibles quejas de las empresas vecinas de GST.

2. Tratamiento primario

Sedimentador primario

El agua residual generada por las actividades de GST Manufacturas de México contiene sólidos y grasas. Con el fin de separar estos componentes de distinta densidad del agua con ayuda de la gravedad mediante métodos físicos se diseña un sedimentador circular con un sistema desnatador con charola de natas. Con este tanque se espera remover el 95% de GyA de acuerdo con las metas y objetivos que se esperan cumplir para lograr una mejora dentro del SGA de GST Manufacturas de México. El sedimentador también ayudará a remover los sólidos no disueltos en el agua que por efecto de la gravedad caen al fondo del tanque separándose así de ella. Sin embargo, se desconoce su concentración en las aguas de GST con el fin de estimar un tamaño para el tanque se tomó como

referencia una concentración de 500 mg/L obtenida de un reporte técnico de agua residual de curtiembre. Para efectos futuros de este proyecto se deberá hacer una determinación real de este tipo de sólidos y se estimará un 60% de remoción ya que, de acuerdo a la CONAGUA, el tratamiento primario por medio de la sedimentación representa una eliminación de entre el 50 y el 60% de los sólidos. (CONAGUA, 2013). Sería preciso también realizar un ajuste en el diseño del tanque si es necesario.

De acuerdo con la ecuación de balance de masa:

$$\text{Acumulación de masa} = \text{entradas} - \text{salidas} + \text{generación}$$

Se realizó el siguiente balance de masa para el sedimentador primario (Figura 13).

NOTA: Todos los balances se realizaron tomando como base datos obtenidos en GST Manufacturas de México acerca de los resultados de los análisis de aguas residuales en donde se determinan las concentraciones de DBO, DQO, GyA y SST Todos los balances se hicieron tomando una base de 1,000L = 1,000 K de agua

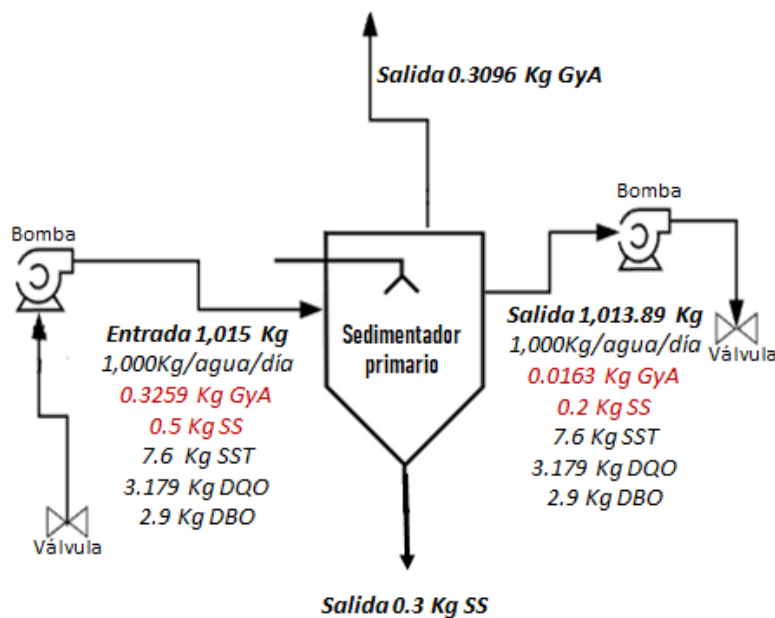


Figura 5 Balance de masa de remoción de GyA de agua residual del proceso de RTE en GST Manufacturas de México en un Sedimentador primario en Kg

La separación de GyA y sólidos del agua se logra gracias a las diferencias de densidades entre estos tres compuestos. Las GyA se remueven de la superficie mediante un desnatador mientras que los sólidos sedimentan y son depositados en el fondo del tanque gracias a la acción de la gravedad.

NOTA: Debemos recordar que para el balance no se tomaron en cuenta los sólidos que sedimentan.

Sustitución de la fórmula de balance de masa

Acumulación de masa Sedimentador primario

$$= 1,015Kg t_{inicio} - (0.3096Kg GyA + 0.3 Kg SS) + 1,013.89 Kg t_{final} = 0$$

De acuerdo al capítulo 9.6 -decantación primaria- del libro de ingeniería de aguas residuales consultado para el diseño de este tanque (Metcalf & Eddy, 1998). Las dimensiones típicas de los tanques sedimentadores circulares son las siguientes.

Profundidad: 3.6 m

Diámetro: 3-60 m

Velocidad rastra: 0.03 rpm

Pendiente del fondo: 100 mm/m

1. Calculo de la remoción de SST

$$\frac{100\%}{60\%} = \frac{500 \frac{mg}{L}}{X} = 300 \frac{mg}{L}$$

2. Calculo del área superficial del sedimentador (Fórmula 6)

$$As = \frac{Q_{prom}}{CHS}$$

Donde:

As: Área superficial

Q_{prom}: Caudal promedio

CHS: Carga hidráulica superficial

De acuerdo con la información típica para el diseño de tanques de decantación primaria del libro de Metcalf & Eddy Inc. la Carga de Superficie o Carga Hidráulica Superficial (CHS) se encuentra en los siguientes intervalos

A caudal promedio 32-50 m³/m²·d

A caudal máximo 80-120 m³/m²·d

Para este tanque se establece una CHS de 35 m³/m²·h, un valor típico

Recordemos que el caudal promedio en GST es de 0.0092 m³/s = 794.37 m³/d; entonces:

$$As = \frac{794.37/d}{35m^3m^2 \cdot d} = 22.69 m^2$$

De la fórmula del área de un círculo sabemos que (Fórmula 7)

$$As = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{As}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{22.69m^2}{\pi}} = 2.68m \quad \therefore D = 5.37m$$

3. Calculo de volumen de sedimentador (Fórmula 8)

$$V = A_s \cdot altura$$

$$V = 22.69m^2 \cdot 3.6m = 81.68m^3$$

4. Calculo del tiempo de Retención Hidráulica del sedimentador (Fórmula 9)

$$TRH = \frac{V}{Q_{prom}}$$

$$TRH = \frac{81.68m^3}{33.10m^3/h} = 2.46 hrs$$

5. Calculo base del sedimentador

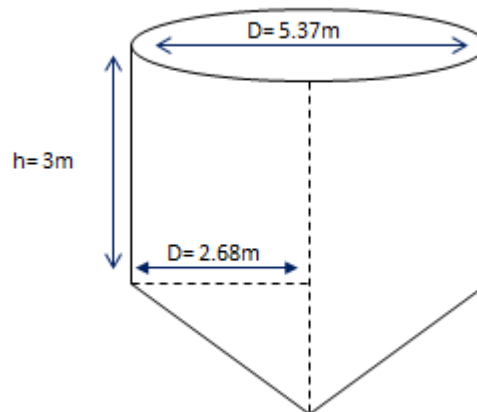
Del teorema de Pitágoras sabemos que (Fórmula 10):

$$c^2 = a^2 + b^2 \rightarrow c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Si la pendiente típica de los tanques sedimentadores es 100mm/m y el radio es 2.68 m entonces, el fondo del tanque será de $268mm = 26.8 cm$ y por lo tanto:

$$c = \sqrt{2.68m^2 + 2.68m^2} = 3.79 m$$

De modo que las medidas del sedimentador primario serían las siguientes (Figura 14)



**Figura 6 Dimensiones del tanque de Sedimentación
primario de GST Manufacturas de México**

El sedimentador primario, paso previo al tratamiento biológico, tiene la función de reducir la carga biológica en el afluente, gracias al tratamiento secundario se permiten tiempos de retención cortos durante el tratamiento primario, lo que ayuda a optimizar procesos. A continuación, se presenta el esquema de este tanque (Figura 15).

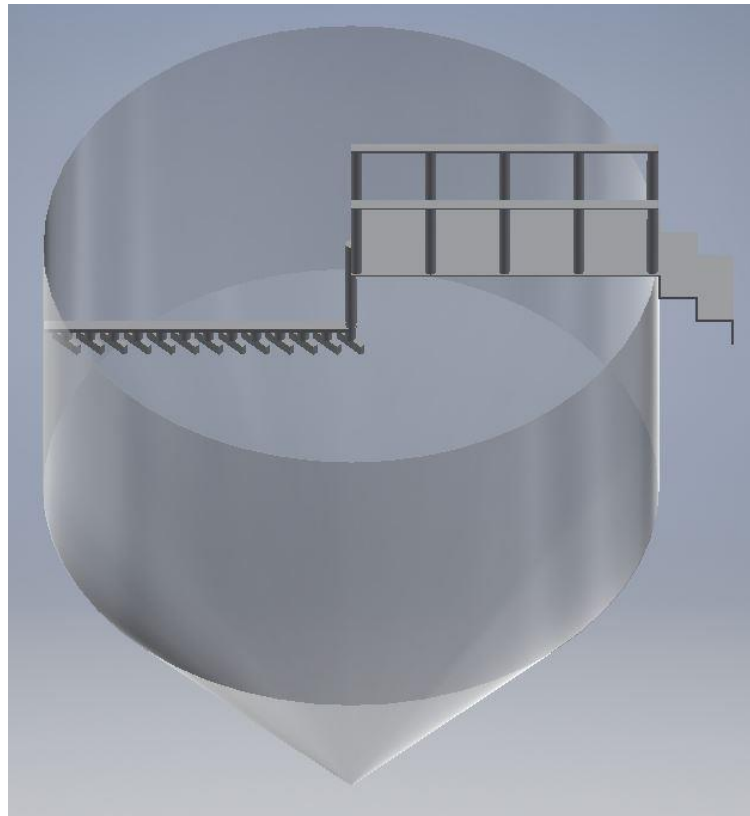


Figura 15 Representación gráfica sedimentador primario propuesto para GST Manufacturas de México

3. Tratamiento secundario

Reactor Biológico SBR

De acuerdo con el SGA de GST Manufacturas de México se espera que el biorreactor tenga una remoción del 95% de DBO_5 para el cumplimiento de SGA de GST. Para lograrlo se propone un tiempo de retención celular de 15 días pues estudios revelaron que las eficiencias de remoción de la fracción biodegradable en el biorreactor con lodos de edades entre 7 y 17 días es la más óptima 97.3 y 97.7% respectivamente (Rodríguez, 2016).

Si se espera una remoción del 95% de la DBO_5 con el biorreactor, entonces el balance sería de la siguiente manera (Figura 16).

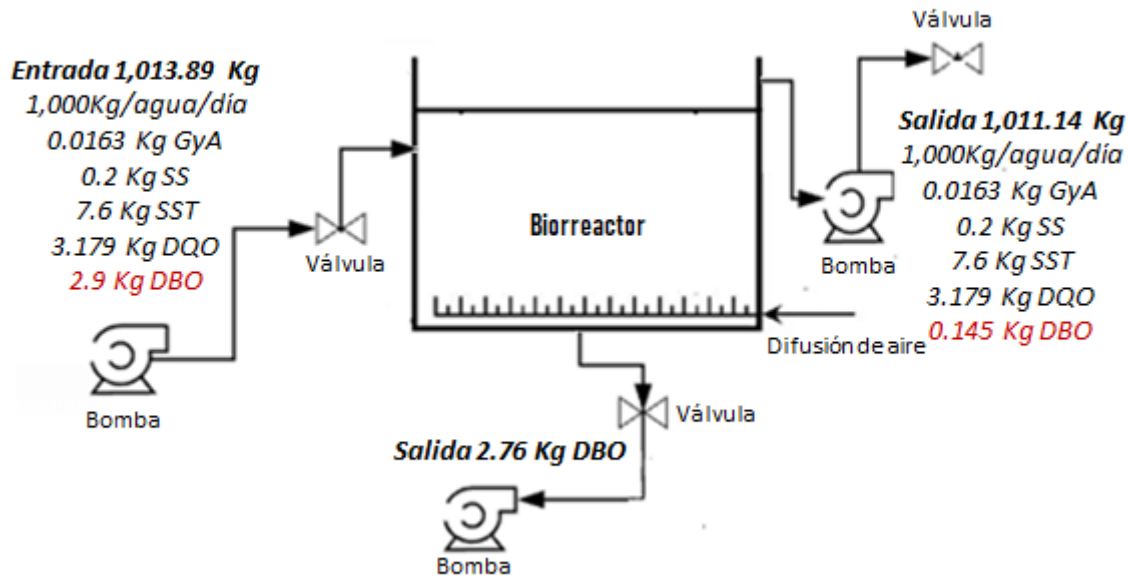


Figura 7 Balance de masa de remoción de DBO de agua residual del proceso de RTE en GST Manufacturas de México en un SBR en Kg

Sustitución de la fórmula de balance de masa

$$\text{Acumulación de masa SBR} = 1,013.89 \text{ Kg } T_{\text{inicio}} - 2.76 \text{ Kg DBO} + 1,011.14 \text{ Kg } T_{\text{final}} = 0$$

Esta degradación de la materia orgánica se logra dado a una etapa llamada fase endógena dentro del reactor. En la que, cuando se agota el sustrato del agua, es decir, el alimento para las bacterias estas comienzan a consumir su propio protoplasma como fuente de energía (Metcalf & Eddy, 1998). En los SBR se logra una remoción entre el 70 y el 80% de tejido celular, el otro 30 y 20 restante está conformado por sustancias inertes y compuestos orgánicos no biodegradables.

Una vez obtenidos los datos de la remoción de DBO en el tratamiento secundario se puede continuar con el diseño del tanque. Hay que tener en cuenta que la funcionalidad de los reactores aerobios depende de factores como la temperatura, el volumen del tanque (tiempo de retención), las necesidades de oxígeno, las necesidades energéticas para el mezclado y la operación del proceso.

En cuanto a la temperatura, dado a que se trata de un tanque que estará en contacto con la atmósfera, las condiciones en el agua dependerán de los cambios climáticos. Al igual que en todos los sistemas biológicos, las bajas temperaturas ralentizan el proceso, mientras que temperaturas elevadas lo aceleran (Metcalf & Eddy, 1998). Teniendo en cuenta lo anterior se puede optar por tener tanques bajo la tierra y que sean de un material aislante como el hormigón. Ya que la ciudad de León no es un sitio con temperaturas extremadamente bajas se considera que las condiciones climatológicas se podrán contrarrestar mediante las acciones propuestas.

Los parámetros de diseño para un biorreactor son los siguientes (Metcalf & Eddy, 1998)

Tiempo de retención hidráulica (TRH) 10-15 días

Necesidades energéticas para el mezclado 0.02-0.04 m³ por 103 m³•min

Nivel de oxígeno disuelto en el líquido 1-2 mg/L

Tasa de utilización del sustrato 0.6 mg•ssr/mgDBO₅

Constante de respiración endógena 0.06d⁻¹

Concentración típica de sólidos en el licor mezclado 3,000mg/L

Fórmula del volumen del biorreactor (Fórmula 11)

$$V_r = \frac{\theta Q Y [c_0 - C_f]}{x(1 + b\theta)}$$

Donde:

Θ: Tiempo de retención celular

Q: Caudal

Y= Tasa de utilización del sustrato

Co: Concentración inicial de DBO

Cf: concentración final de DBO

b= Constante de respiración endógena

x= Concentración de sólidos en el licor mezclado

$$V_r = \frac{15d (985m^3/d) 0.6mg_{sst} /mg_{DBO5} [2,900 mg/L - 145mg/L]}{3,000mg/L (1 + 0.06d^{-1} \cdot 15d)} = 4,284 m^3$$

Siendo así que reactor biológico se verá de la siguiente forma (Figura 9).

Para garantizar la remoción del 95% de la DBO de las aguas de GST se propone un TRH de 15 días, condiciones energéticas de mezclado de 0.04 m³ por 103 m³•min y nivel de oxígeno disuelto de 2 mg/L. Los máximos según los parámetros establecidos en la bibliografía revisada. Las dimensiones del SBR se muestran en seguida (Figura 17).

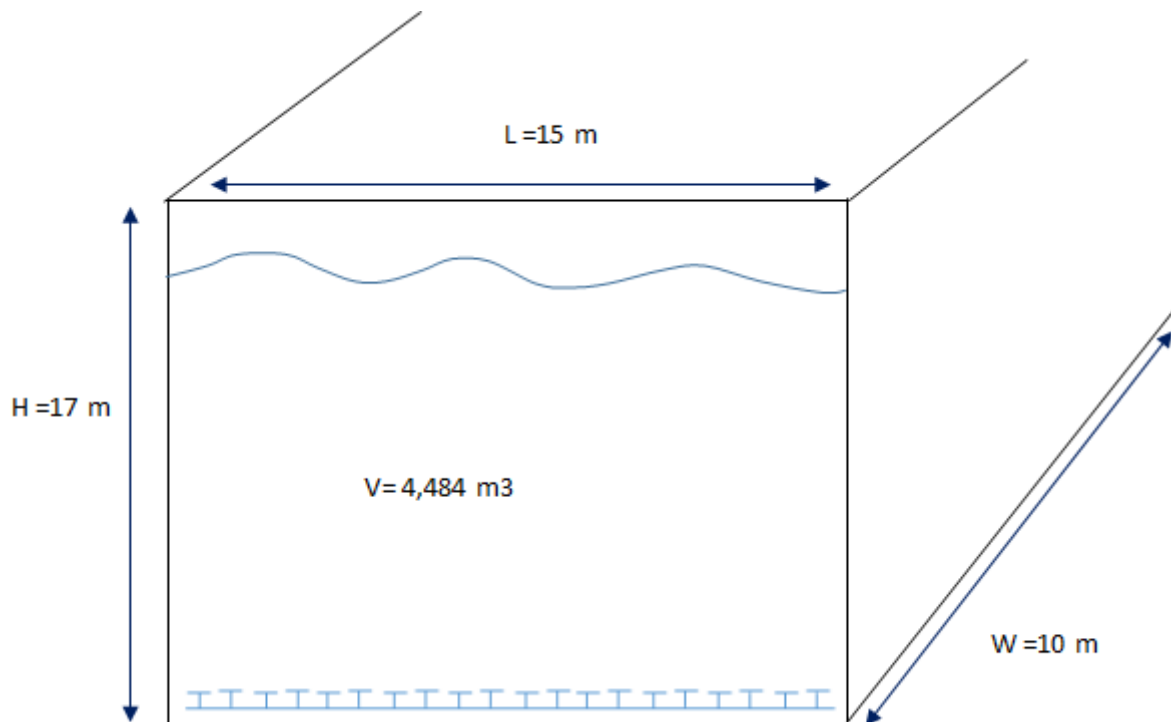


Figura 17 Dimensiones del biorreactor SBR de GST Manufacturas de México

Las dimensiones del biorreactor se propusieron tomando en cuenta el espacio disponible en GST y la fórmula del volumen de un rectángulo (Fórmula 12).

$$V = HWL$$

Donde:

H: altura

W: ancho

L: Largo

En seguida se muestra el diagrama del biorreactor (Figura 18).

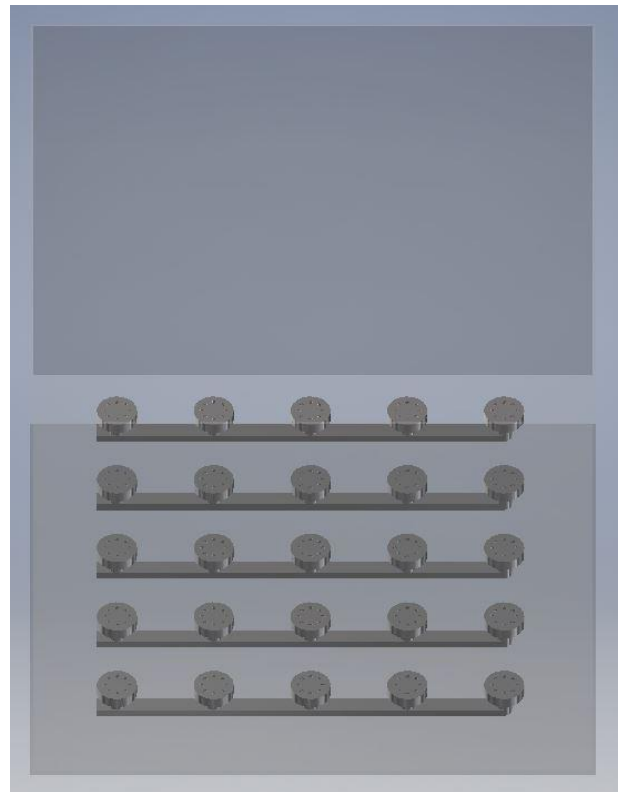


Figura 18 Representación gráfica del Biorreactor SBR para GST Manufacturas de México

Con las condiciones dadas al biorreactor se espera una excelente remoción de la materia orgánica biodegradable y del tejido celular para que el agua tenga una mejor calidad al entrar al siguiente proceso.

4. Tratamiento terciario

Proceso de Oxidación Avanzada con sistema Fenton

Como se ha mencionado con anterioridad, las AOP's con sistemas Fenton con $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}_2$ son tecnologías que han mostrado resultados positivos en la remoción de contaminantes emergentes causados por el uso de humectantes. Es por eso que este tipo de tecnologías se proponen para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de RTE en GST Manufacturas de México.

Debido a que no existen datos sobre pruebas de laboratorio en aguas residuales de RTE conteniendo contaminantes del tipo alquilfenolpolietoxilado y del tipo sulfonato de alquilbenceno empleando se tomaron estudios realizados en aguas provenientes del rastro y en aguas con un contenido de colorantes empleados en RTE como referencia para proponer un porcentaje de remoción de la DQO y una dosis de adición de $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ al tanque. La prueba realizada para remover colorantes de RTE sirve como referencia ya que, aunque no son los compuestos que se estudian en este proceso si son empleados en la plata de RTE de GST Manufacturas de México y por consiguiente son elementos que se esperaría remover. En cuando al porqué se tomó como referencia el estudio elaborado en el rastro, la razón es porque la materia prima, aunque ya transformada, que llega a GST proviene del rastro, tanto en las aguas residuales de RTE como en las del rastro se esperan altos contenidos de materia orgánica.

Las pruebas realizadas para un proyecto en aguas del rastro denominado "Depuración del efluente de un rastro municipal mediante aplicación del proceso Fenton" sugieren una remoción de la DQO de un 95% de DQO (Vargas, Hernández, & Chávez, 2013).

Durante las pruebas se comparó el comportamiento del agua empleando concentraciones de 0.5, 1 y 2 mM de Fe^{2+} y 200, 300 y 500mg/L de H_2O_2 . En esta prueba se llevaron a cabo reacciones tipo Fenton en reactores de 1L los cuales trabajaron por lotes y se monitorearon periódicamente. Los resultados obtenidos de esta prueba arrojaron que la dosis con la que se logró una mayor remoción de la DQO son 2 mM de Fe^{2+} y 200 mg/L. (Figura 19).

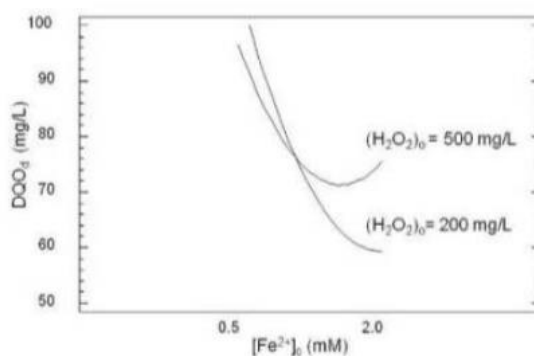


Figura 19 Interacción de las concentraciones de Fe²⁺ y H₂O₂ y la DQO en experimentos de AOP's de sistemas Fenton Condiciones experimentales: DQO: 342.9 mg/L y pH de 3

En las pruebas realizadas para eliminar los colorantes empleados en RTE con reacciones Fenton se obtuvieron resultados de una remoción del 85% del color empleando concentraciones de 200 mg/L de H₂O₂ y 0.5mM de FeSO₄•7H₂O. En estas pruebas se emplearon reactores de 3 L y concentraciones de 100, 200 y 300 mg/L de H₂O₂ para hacer la comparativa. (Figura 20).

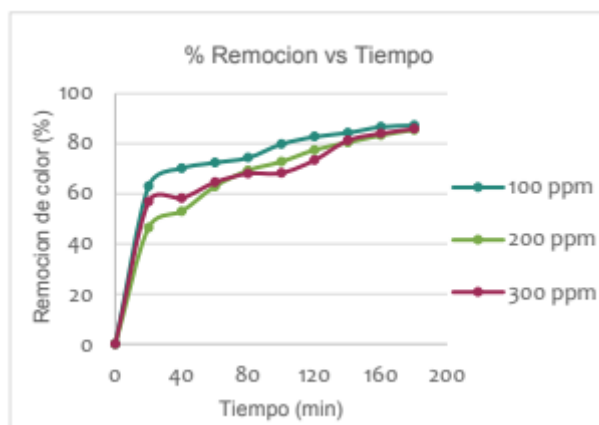


Figura 20 Degradación de colorantes usados en RTE con concentraciones de 0.5mM Fe²⁺ y 100, 200 y 300 mg/L de H₂O₂

Debido a que en ambos estudios las concentraciones de 200 mg/L de H₂O₂ reportaron un buen índice de remoción de contaminantes se tomará esa referencia para realizar el balance de materia para determinar la remoción de contaminantes de las aguas residuales de RTE en GST Manufacturas de México.

En cuanto a la concentración de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ se tomará como base 2mM ya que esta fue la concentración que mejores resultados mostró durante la elaboración de las pruebas en el rastro y se obtuvo un porcentaje mayor de remoción del contaminante en cuestión que en las pruebas hechas con colorantes de RTE. Con base en lo anterior se realiza un supuesto de dosis con la que se esperaba obtener una remoción entre el 85 y el 95%. Para realizar los cálculos se supondrá una remoción del 90%. Dado a que el Hierro también se utiliza en los procesos de coagulación²-floculación³ se espera entonces obtener también un 95% de remoción de los SST.

NOTA: Es evidente que tanto la DQO como los SST disminuirán después del tratamiento biológico y no tendrán las concentraciones teóricas que se exponen en el balance de este proyecto, sin embargo, se tomaron al 100% las concentraciones de los resultados de análisis de agua de GST Manufacturas de México para los propósitos de esta investigación.

Para conocer la dosis necesaria de FeSO_4 que verter en el tanque se debe conocer su peso molecular (151.91 g/mol). Si la concentración a la cual se desea llegar es 0.002 molar entonces:

$$\frac{1 \text{ mol}}{0.002 \text{ molar}} \frac{151.91 \text{ g/mol}}{X} = 0.304 \text{ gr} = 304 \text{ L FeSO}_4$$

Se hace un ajuste en la dosis dado al porcentaje de rendimiento de las reacciones químicas suponiendo un 90% de rendimiento:

$$\frac{304 \text{ L FeSO}_4}{0.90} = 338 \text{ L FeSO}_4$$

El mismo ajuste se hace para los 200 mg/L de H_2O_2 :

$$\frac{200 \text{ mg /L H}_2\text{O}_2}{0.90} = 230 \text{ g/L H}_2\text{O}_2$$

² Tratamiento químico que se logra al neutralizar la carga de los coloides presentes en el agua formando precipitados.

³ Proceso que ocurre en conjunto con la coagulación que consiste en la aglomeración de coloides lo suficientemente grandes como para asentarse con la rapidez deseada.

Conociendo las dosis de $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ a emplear se puede realizar el balance de masa de la

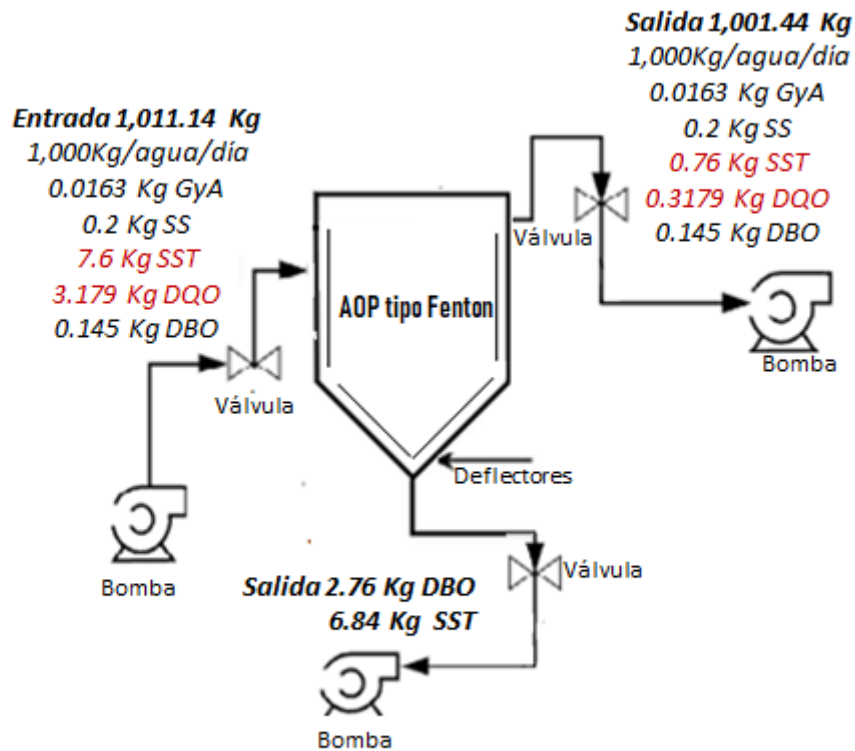


Figura 8 Balance de masa de remoción de DQO de agua residual del proceso de RTE en GST Manufacturas de México con reacciones Fenton en Kg

siguiente manera (Figura 21)

Para este proyecto se propone que las dimensiones del tanque AOP tipo Fenton sean las mismas que las del Sedimentador primario ya que se trata del mismo flujo. En seguida se presenta una ilustración del tanque tipo Fenton (Figura 22).

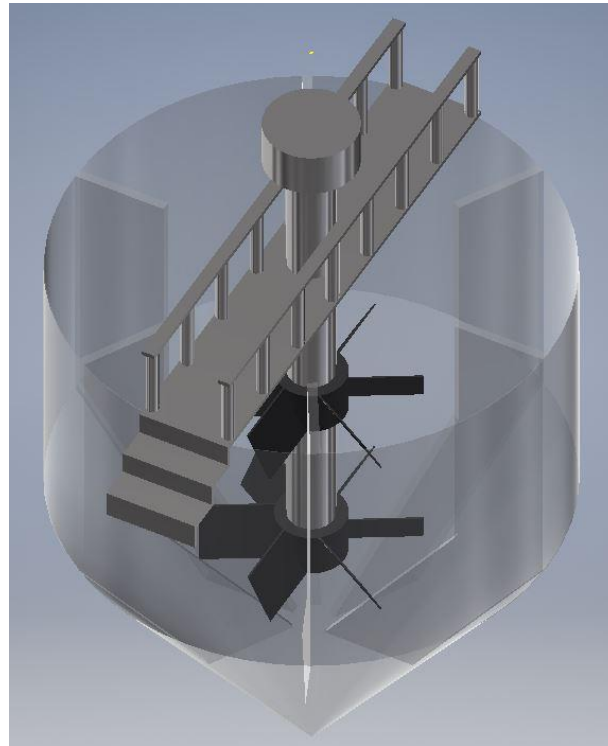


Figura 22 Representación gráfica del Biorreactor SBR para GST Manufacturas de México

Mediante este Proceso de Oxidación Avanzada se asegura la eliminación tanto de la materia orgánica no biodegradable restante del SBR y los contaminantes emergentes de los tipos alquilfenolpolietoxilados y sulfonatos de alquilbenceno al promover la ruptura de los compuestos resistentes a la degradación biológica liberando radicales y transformado los compuestos tóxicos en productos inertes.

A continuación, se muestra el balance de masa de los tres sistemas de tratamiento, primario, secundario y terciario (Figura 23).

$$\begin{aligned}
 & \textit{Acumulación de masa Total} = \\
 & 1,015 \textit{ Kg T inicio} - (0.3 \textit{ Kg SS} + 0.3096 \textit{ Kg GyA} + 2.76 \textit{Kg DBO} + 6.08 \textit{ SST} + 2.86 \textit{ Kg DQO}) + \\
 & 1001.44 \textit{ Kg T final} = 0
 \end{aligned}$$

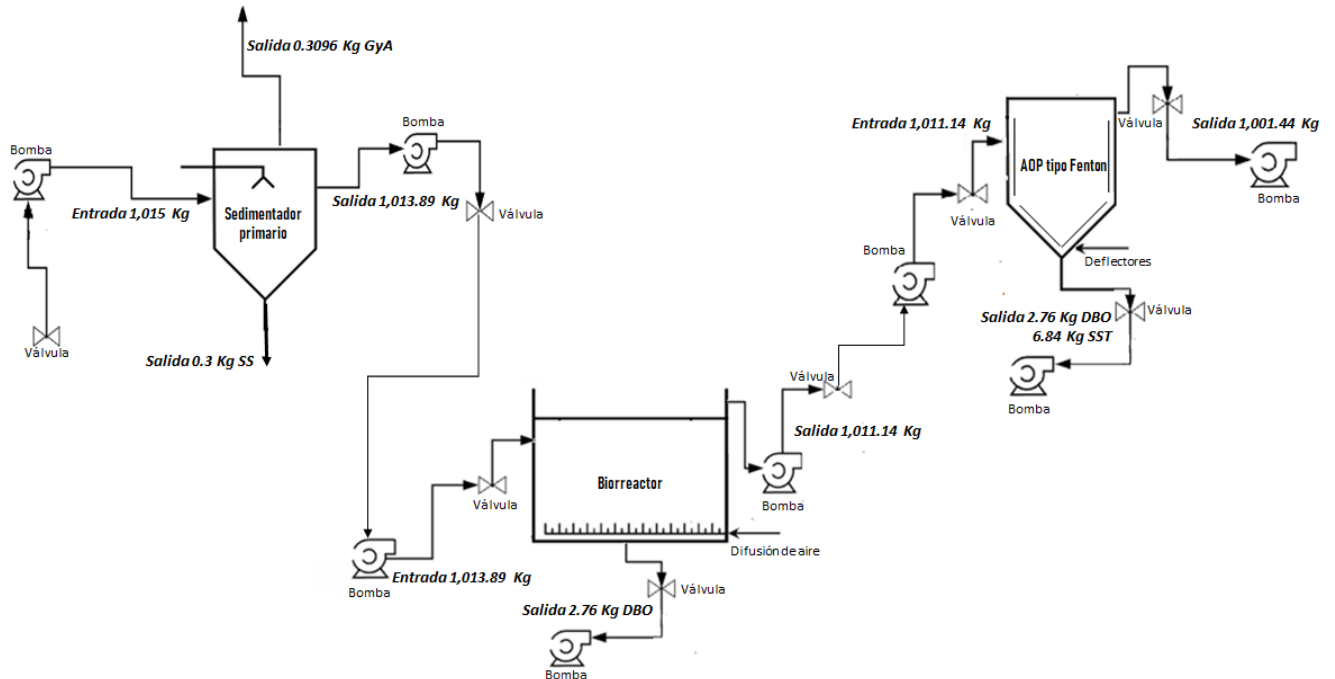


Figura 9 Balance de masa de remoción de contaminantes de agua residual del proceso de RTE en GST Manufacturas de México mediante sedimentador primario, SBR y reacciones Fenton en Kg

Es importante recordar que habrá que llevar a cabo estudios a las aguas residuales a tratar y se deberá entonces cumplir con el programa que se propone en seguida.

El tratamiento de aguas que se propone en este trabajo de investigación asegura no sólo la remoción de los contaminantes emergentes en cuestión, sino que también otro tipo de contaminantes presentes en el agua. Es importante destacar que los tratamientos de aguas residuales se diseñan no sólo para tratar un tipo de contaminante, ya que esto resultaría contraproducente, se debe entonces obtener un panorama de las características especiales que presenta cada tipo de agua residual para de esa manera eliminar tantos contaminantes como sea posible sin perder de vista componente principal que se desea remover. A continuación, se muestra el esquema completo de la planta de tratamientos de agua residual que se propone para la empresa GST Manufacturas de México (Figuras 24 y 25).

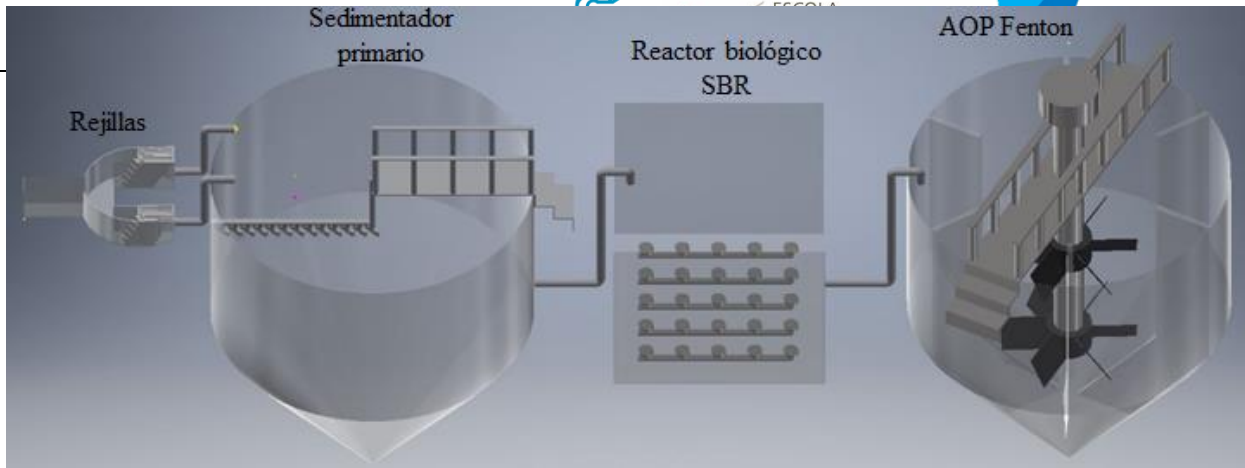


Figura 24 Vista lateral superior de la planta de tratamiento de aguas residuales para el proceso de RTE en GST Manufacturas de México

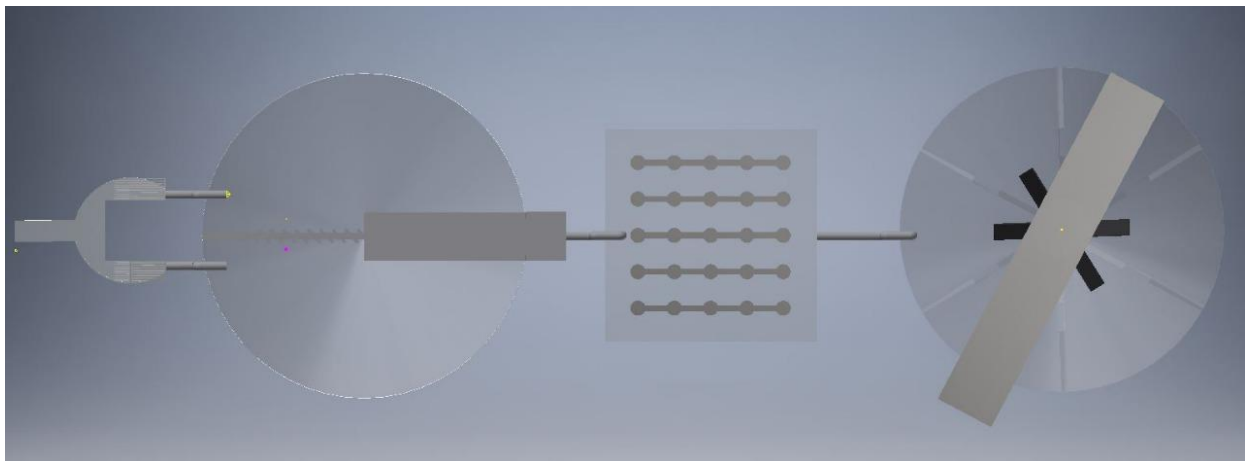


Figura 25 Vista aérea de la planta de tratamiento de aguas residuales para el proceso de RTE en GST Manufacturas de México

1.5.4. Elaboración de un cronograma de actividades que presentar a la dirección de GST Manufacturas de México y proponer el tratamiento de las aguas residuales para el proceso de RTE

A continuación, se presntan las actividades (Figura 26) y se describe la importancia de cada una.

Actividad	2019						2020						2021														
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Analizar agua residual para determinar concentraciones de Sólidos Sedimentables																											
Analizar agua residual para determinar la toxicidad del agua con respecto a los contaminanes emergentes																											
Calcular grado de oxidación de los compuestos tóxicos mediante las reacciones Fenton																											
Elaborar presupuesto del proyecto																											
Comparar distintos proveedores																											
Elaborar presentación con propuesta de proyecto																											
Proponer a dirección de planta proyecto de PTAR																											
Modificar cambios propuestos por la dirección (en su caso)																											
Solicitud de permisos a dependencias gubernamentales																											
Definir zona en la que se ubicará la planta tratadora																											
Elaboración de estudio de impacto ambiental																											
Establecer términos y condiciones para la construcción y mantenimiento de las instalaciones																											
Construcción de la planta tratadora																											
Estrategias de mitigación de impactos ambientales producidos por la obra																											

Figura 10 Cronograma de actividades para la propuesta de una Planta de Tratamiento de aguas Residuales para la empresa GST Manufacturas de México

Determinación de concentraciones de Sólidos Sedimentables, toxicidad y grado de oxidación de compuestos mediante reacciones de Fenton en el agua residual de RTE en GST Manufacturas de México

Aunque se tomaron valores típicos de aguas de curtiembre para realizar el diseño del tanque, se requiere una adecuada caracterización del agua para poder tener un verdadero control sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y establecer los materiales y reactivos con especificaciones y cantidades especiales para asegurar que la remoción de contaminantes se está dando de acuerdo a lo esperado.

Elaboración de presupuesto, comparación de distintos proveedores, presentación de propuesta de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y modificación de propuesta

Una vez obtenidos los datos reales de las concentraciones de contaminantes que se requieren para el diseño exclusivo de una PTAR que trate el efluente proveniente del proceso de RTE de la empresa GST Manufacturas de México es preciso elaborar diversas propuestas para la construcción de la planta tratadora y un análisis costo-beneficio que presentar a la Dirección de GST para exponer las ventajas que se obtendrían con cada una de las diferentes propuestas obtenidas por parte de los proveedores. El proyecto está abierto a cualquier modificación sugerida por los departamentos pertinentes dentro de GST.

Solicitud de permisos a dependencias gubernamentales, definición de zona para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, elaboración de estudio de impacto ambiental.

Se deben llevar a cabo los procedimientos establecidos por la ley para realizar modificaciones a las instalaciones de la tenería con el fin de evitar multas de las diferentes dependencias, se cumplirán con todas las exigencias de las autoridades para la construcción de la PTAR, como por ejemplo, la modificación de uso de suelo de la empresa para poder definir su ubicación o el estudio de impacto ambiental, del cual se derivarán diversas actividades para mitigar los impactos ambientales ocasionados por la construcción de la PTAR.

Establecimiento de términos y condiciones para la construcción de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales, construcción de la planta e implementación de estrategias de mitigación de aspectos ambientales.

Es importante llegar a acuerdos con los contratistas y de más empresas que llevarán a cabo las actividades de construcción de la PTAR. Se deben poner en claro las responsabilidades que tiene

cada una de las partes involucradas para evitar cualquier imprevisto o mal entendido y asegurar que se cumplan los requerimientos de GST para la construcción de la planta tratadora. En cuanto a las estrategias de mitigación, son actividades que se establecen en el estudio de impacto ambiental y que se deben cumplir para asegurar prácticas responsables referentes al cuidado del medio ambiente.

Conclusiones

La biodegradabilidad de los compuestos alquilfenolpolietoxilados, al igual que los sulfonatos de alquilbenceno, depende directamente de su concentración. Las altas cantidades de estos contaminantes emergentes afectan la actividad microbiana hasta el grado de inhibir su funcionamiento. El tratamiento que se propone en el presente proyecto ayuda a la limpieza de las aguas residuales de GST Manufacturas de México para mejorar sus prácticas de cuidado ambiental y con ello su Sistema de Gestión Ambiental para cumplir con su responsabilidad con el medio ambiente.

Se pueden obtener grandes resultados en la remoción de contaminantes emergentes en el agua mediante procesos biológicos, sin embargo, se requiere de tiempo para que los microorganismos realicen sus funciones de descomposición contaminantes. Con la asistencia de Procesos de Oxidación Avanzada se puede lograr la remoción de contaminantes emergentes de una manera más rápida e inofensiva para el medio ambiente. Este tipo de tecnologías representan una opción atractiva para el tratamiento de aguas residuales de tenería debido a los tantos tipos y grandes cantidades de químicos que se emplean a lo largo del proceso de curtido de piel. Las AOP's con reacciones Fenton son procesos fáciles de llevar a cabo y que aseguran la oxidación de los contaminantes que representan el objeto de estudio de este proyecto de investigación.

Mediante la aplicación de este proyecto se garantiza una eliminación de la mayoría de los contaminantes presentes en las aguas de RTE de GST, incluidos los contaminantes emergentes provenientes del uso de productos humectantes. De esta manera se evitarán los estragos ambientales causados por estos agentes. Lo anterior reducirá la contaminación ocasionada por las actividades de GST y significará un avance tecnológico dentro de sus instalaciones. No obstante, es necesario que las actividades posteriores al alcance de este proyecto se realicen de acuerdo al cronograma de actividades para realizar los ajustes pertinentes en los aspectos del proyecto donde sea requerido y poder llevar a cabo el proyecto de saneamiento de agua aquí propuesto.

Agradecimientos

El apoyo recibido cuando se inicia un proyecto es primordial, no sólo representa el vehículo o medio físico para lograr nuestros cometidos, sino que también significa una motivación emocional muy especial. El hecho de saber que hay alguien que cree en nosotros, que nos sabe capaces de lograr cualquier cosa que nos propongamos; que nos ayuda de tantas maneras diferentes y de formas tan particulares es reconfortante, es caer en cuenta que no estamos solos y que lo único que necesitamos es tener un poco de fe en nosotros mismos y creer como quien nos apoya cree en nosotros.

Este logro no hubiera sido posible sin la ayuda de CONACYT, quien me otorgó una beca de la que ha sido un gran honor ser acreedora. Sin duda puedo asegurar que todos los recursos que me fueron facilitados los aproveche tanto como pude para los fines para los que se me otorgaron, las horas dedicadas al estudio de este proyecto fueron de gran crecimiento para mí y por ello estaré enteramente agradecida.

Quien fue un pilar, tanto en mi formación como en la elaboración de este proyecto y, a quien debo la mayoría del conocimiento adquirido es a CIATEC. Las experiencias vividas dentro y fuera del centro de investigación fueron fundamentales para mi formación. Quiero agradecer a mis maestros y asesores por compartirme su conocimiento y guiarme a lo largo del trayecto y a cada uno de los miembros de esta institución con quienes tuve el privilegio de trabajar por hacer de esta una gran experiencia.

De igual manera, la Escuela de Ingeniería de Igualada formó parte importante de este camino lleno de aprendizaje, descubrimientos y sorpresas. Quiero agradecer a la universidad por abrirme las puertas y hacerme sentir como en casa. Fue una estancia muy placentera de la que sólo tengo buenos recuerdos pero sobre todo, fue una estancia que me mostró un mundo diferente en cuanto a curtidos de piel, un mundo lleno de combinaciones y posibilidades infinitas.

El último agradecimiento, pero no el menos importante, es para mi familia, mi complemento, en donde encuentro mi lugar y a donde pertenezco. Gracias por estar y ser tan maravillosos. Con amor
Renata

Bibliografía

- Álvarez, S., Maldonado, M., Gerth, A., & Kusch, P, *Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo*, SciELO. León, Gto. (2004).
- Aranda, F. C. *Sedimentador Primario*. UTJ, Lima, (2006).
- Argüelles, R. I. *¿Qué es la Biorremediación?*, Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Ciudad de México, (2010).
- Bacardit, A., & Ll.Ollé, *El acabado del cuero*, Escola d'Enginyeria d'Igualada., Igualada, (2002).
- Bacardit, A., & Ll.Ollé, *Maquinaria de Curtidos*, Escola d'Enginyeria d'Igualada. Igualada (2002).
- Badillo, G. P., Cortazar, M. H., Hipólito, C. N., Pérez, R. S., & Sánchez, I. G, (2010). *Efectos tóxicos del alquilbencensulfonato lineal, antraceno y su mezcla sobre el crecimiento de un consorcio microbiano aislado de sedimento contaminado*, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000100004&lng=es&nrm=iso
- Baird, C. Biorremediación. En C. Baird, *Química ambiental* (pág. 561). Reverté S.A, Barcelona, España, (2001).
- Barceló, D., Los contaminantes emergentes: descripción y tratamientos,. *iaqua*, (2018).
- Barceló, D., & Petrovic, *MEmerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste. Occurrence, Analysis and Effects* SPRINGER, Berlin, (2009).
- Braun, A., & Oliveros, E. How to evaluate photochemical methods for water treatment, B. A.M, & E. Oliveros. *Wat. Sci. Tech*, (1997).
- C.Planasa, J.M.Guadayolb, M.Droguetb, A.Escalasb, J.Riveraa, & J.Caixach. Degradation of polyethoxylated nonylphenols in a sewage treatment plant. Quantitative analysis by isotopic dilution, 982-988.- HRGC/MS. *ScienceDirect*, (2002).
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. Biología de la conservación y ecología de la restauración. En N. A. Campbell, & J. B. Reece, *Biología 7ª Edición* (pág. 1225), Panamericana Madrid, España (2007).
- Carballa, M. *Fate of Pharmaseutical and Personal Care Products (PPCP's)*, (2005).
- Cárcamo-Solís, M. d., a Carrete-Lucero, L. d., & Arroyo-López., L. d.-C. (2016). En *Sobre la responsabilidad social empresarial, estudios de caso en México* (págs. 197-217). Miguel Ángel Porrúa.
- Cámara Nacional de la Industria de la Curtiduría CICUR. (2017). Disponible en: www.cicur.org. Varias estadísticas.

- CONAGUA. (04 de 05 de 2013), Aplicaciones de Medición de Sólidos Suspendidos y orgánicos, <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Taller%203%20HACH.pdf>
- CONAGUA. (2014). *Tecnologías más limpias en la industria de la curtiduría en la ciudad de León, Guanajuato*,://agua.guanajuato.gob.mx/pdf/publicaciones/tml.pdf
- Dewila, R., Mantzavinos, D., Poullos, L., & Rodrigo, M. A. New perspectives of Advanced Oxidation Processes. En R. Dewila, D. Mantzavinos, Ioannis Poullos, & M. A. Rodrigo, *Journal of Environmental Management* (págs. 93-99). Board Page, (2017).
- Díaz-Báez. (2002). Ingeniería Ambiental, <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- Doménech, X., & Peral, J. Demanda de oxígeno en un sistema acuático. En X. Doménech, & J. Peral, *Química Ambiental de sistemas terrestres* (pág. 190). Barcelona, España: Reverté, (2006).
- Figueroa, L. A., Miller, J., & Dawson, H. E, Biodegradation of two polyethoxylated nonionic surfactants in sequencing batch reactors, *ProQuest*, (1997).
- Flores-Nunes, F., Mattos, J. J., Zacchi, F. L., Serrano, M. A., Piazza, C. E., Sasaki, S. T., Effect of linear alkylbenzene mixtures and sanitary sewage in biochemical and molecular responses in pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Environmental Science and Pollution Research*, 17386-17396, Bairy, A. C, (2015).
- Foreto, J. E., Ortiz, O. P., & Ríos, F. (2005). *Aplicación del procesos de oxidación avanzada como tratamiento de Fenol en Aguas Residuales Industriales de refinería*, <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v3n1/v3n1a08.pdf>
- Gil, M., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas*, <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Guzmán, A. B., & Hernández, J. M. (2015). *Tratamiento de Efluentes Acuáticos Mediante Procesos Electroquímicos de Oxidación Avanzada*. *Revista de Divulgación Científica*, 21-32.
- Hernández, R. F., *Eficiencia de sistemas avanzados de oxidación acoplados*. ECOSUR, (2012).
- Ibargüengoitia, J. (2014). León no dará marcha atrás en la reubicación de tenerías, *esloCotidiano.com*
- Jisha, A. K, Biodegradation of the Anionic Surfactant Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) by Autochthonous *Pseudomonas sp*, *Springer Science+Business Media*, (2012) .
- Long, J., & Xu, L. J. (2012). Advanced Oxidation Process of Wastewater treatment: Formation of Hydroxyl Radica and Application. *Environmental Science Technology*, 251-325. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10643389.2010.507698?needAccess=true>
- Mackay, D., Di Guardo, A., Paterson, S., Kicsi, G., & Cowan, C., Assessment of chemical fate of LAS in the environment using evaluative, regional and local scale models, illustrative application to chlorobenzene and linear alkylbenzene sulphonates. *Society of Environmental toxicology and Chemistry*, págs. 1638-1648. (September de 1996)

- Mehrvar, M., & Tabrizi, G. B. (07 de Jun de 2006). Combined Photochemical and Biological Processes for the Treatment of Linear Alkylbenzene Sulfonate in Water, *Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, págs. 581-597.
- Metcalf, & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales Tomo 1 y 2 pag. 455-953*. McGraw-Hill, (1998).
- Miller, & Levine. *Biology* 41-59. Pearson Prentice, (2009).
- ONU. (2017). Informe Mundial de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. En *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. UNWATER.
- Paz, D. *Biodegradación anaerobia de compuestos tóxicos en aguas residuales industriales*. (2002).
- Peña, S. (2017). *HIPERTEXTOS DEL ÁREA DE LA BIOLOGÍA.*,
http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/impacto_de_los_residuos.htm
- Rebello, S., Asok, A. K., Mundayoor, S., & Jisha, M. S. (junio de 2014). Surfactants: toxicity, remediation and green surfactants. *Environmental Chemistry Letters*, 207-287.
- Rodríguez, F. C., Ruiz, M. D., Plá, R. B., Romera, M. j., Domínguez, F. J., Moreno-Vivián, C., & Leque-Romero, M. Técnicas de transferencia e hibridación de ácidos nucleicos. En F. C. Rodríguez, M. D. Ruiz, R. B. Plá, M. j. Romera, F. J. Domínguez, C. Moreno-Vivian, & M. M. Leque-Romero, *Biotecnología Ambiental* (pág. 336). TÉBAR, S.L., Madrid, Españ.,. (2005).
- Rodríguez, J. A. (27 de 03 de 2016). Programa Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo. *INFLUENCE OF THE TIME OF CELLULAR RETENTION ON THE BIOLOGICAL*. Barinas, Barinas, Venezuela. <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2016/agro10.pdf>
- Rodríguez, M. D. (2005). La industria de la curtiduría contaminó el sistema hidráulico de León: ecologistas. *La Jornada*.
- Sanz, J., Lombraña, J. I., Luis, A. M., Ortueta, M., & Varona, F. (2003). Microwave and Fenton's reagent oxidation of wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, 45-50.
- SEMARNAT. (2014). *El Medioambiente el México 2013: 2014*.
http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html
- Soler, J. *Procesos de curtidos*. Escola d'Eninyeria d'Igualada, Igualada (2000).
- Surveza, A. (2006). Sin freno, muerte de aves por contaminación. *El Universal*.
- Tabrizi, G. B. (1994). *ProQuest*. Obtenido de Pilot Plant Study of Aqueous Linear Alkylbenzene Sulfonate Degradation By Combined Advance Oxidation and Biological Processes:
<http://search.proquest.com.conricyt.remotexs.co/docview/305043341?pq-origsite=summon>
- Tortora, G. j., Funke, B. R., & Case, C. L., Aplicaciones de la microbiología. En G. j. Tortora, B. R. Funke, & C. L. Case, *Introducción a la microbiología 9ª Edición* (págs. 4-6). Panamericana, Buenos Aires, Argentina: (2007).

Undiano, E., Arroyo, N., & Ayala, M. (2017). Contaminantes emergentes ¿qué son y cómo nos afectan? *Investigación y Desarrollo*.

UNESCO. (2017). Informe mundial de las Naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos : <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>

Valencia, A. S. (2009). *Remojo de pieles mediante vacío*. Obtenido de <https://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1019/109/1/Tesis-armando%20salda%C3%B1a.pdf>

Vargas, J. P., Hernández, J. M., & Chávez, E. I., *Depuración del efluente de un rastro municipal mediante la aplicación del proceso Fenton*. Latindex, León., (2013).

Vázquez, C. L., Méndez, G. B., & Carrillo, H. G. *Tratamiento biológico de aguas residuales principios, modelación y diseño*. IWA publishing, (2017).

Viruete, M. F. (2016). Encuentran residuos químicos en Malecón, periódico *a.m*.

Zhu, S.-N., Wang, C., Yip, A. C., & Tsang, D. C. (2015). *Highly effective degradation of sodium dodecylbenzene sulphonate and synthetic greywater by Fenton-like reaction over zerovalent iron-based catalyst*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.99248>

Anexos

ANEXO 1 *Análisis de agua residual GST*

2

Anexo 1

ANEXO 1 Análisis de agua residual GST



INFORME DE ENSAYO



Folio: 329324

COMPañIA: GST MANUFACTURAS DE MÉXICO S.A. DE C.V.	
DIRECCIÓN: Carretera Libramiento Oscar Flores Tapia, Arteaga, Coahuila, C.P. 25350	
FECHA DE ENTRADA: 23 de noviembre de 2017	O. DE T.: 17112209-7(1)
FECHA DE ANÁLISIS: Del 23/11 al 19/12 de 2017	AT'N: Ing. Jonathan Guerra Orueta
FECHA DE INFORME: 19 de diciembre de 2017	

El presente informe se refiere únicamente a las muestras sometidas a prueba y no debe ser reproducido, excepto en su totalidad. En caso de reproducción parcial, empleo con fines legales o publicitarios, Debe contarse previamente con la autorización por escrito de Bufete Químico, S. A. de C. V.

Muestra No. 1.- RTE (Salida de callejón de servicios)

I.- Análisis Fisicoquímicos. Análisis Microbiológicos.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS Muestra 1
Grasas y aceites (mg/L) (promedio ponderado) NMX-AA-005-SCFI-2013	325.50
Sólidos suspendidos totales (mg/L) NMX-AA-034-SCFI-2015	760
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L) NMX-AA-030/2-SCFI-2011	3 179
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg de Oxígeno/L de muestra) NMX-AA-028-SCFI-2001	2 900

Analizaron:

Depto. de Fisicoquímicos
Depto. de Microbiología

Atentamente:

BUFETE QUÍMICO S.A. DE C.V.


I.Q.A. Tania Valeria Maldonado V.
Coordinador de Sistema de Calidad