

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL



DEGRADACION DE COLORANTES EN EFLUENTES PROVENIENTES DE
INDUSTRIAS TEXTILES USANDO PROCESO DE OXIDACION AVANZADA.

TESIS PRESENTADA POR EL BACHILLER:

JUVER BRAYAN SALAS RAMIREZ

PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL

ASESOR:

ING. ABRAHAM PACHECO OVIEDO

AREQUIPA – PERÚ

2017

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, su amor y su bondad no tiene fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda.

A mis padres Juver y Cecilia, por ser un ejemplo de esfuerzo y amor, por los valores que me transmitieron, por su entrega constante y por la dedicación que pusieron en mí, son en una fuente constante de inspiración.

A mis hermanos Emyly y Andrei, por compartir mi crecimiento y siempre ser un apoyo para mí.

A mi tía Marleni, por toda la ayuda y amor que me has dado.

A Fatima por ser el impulso y motivación diaria para poder terminar con esta investigación.

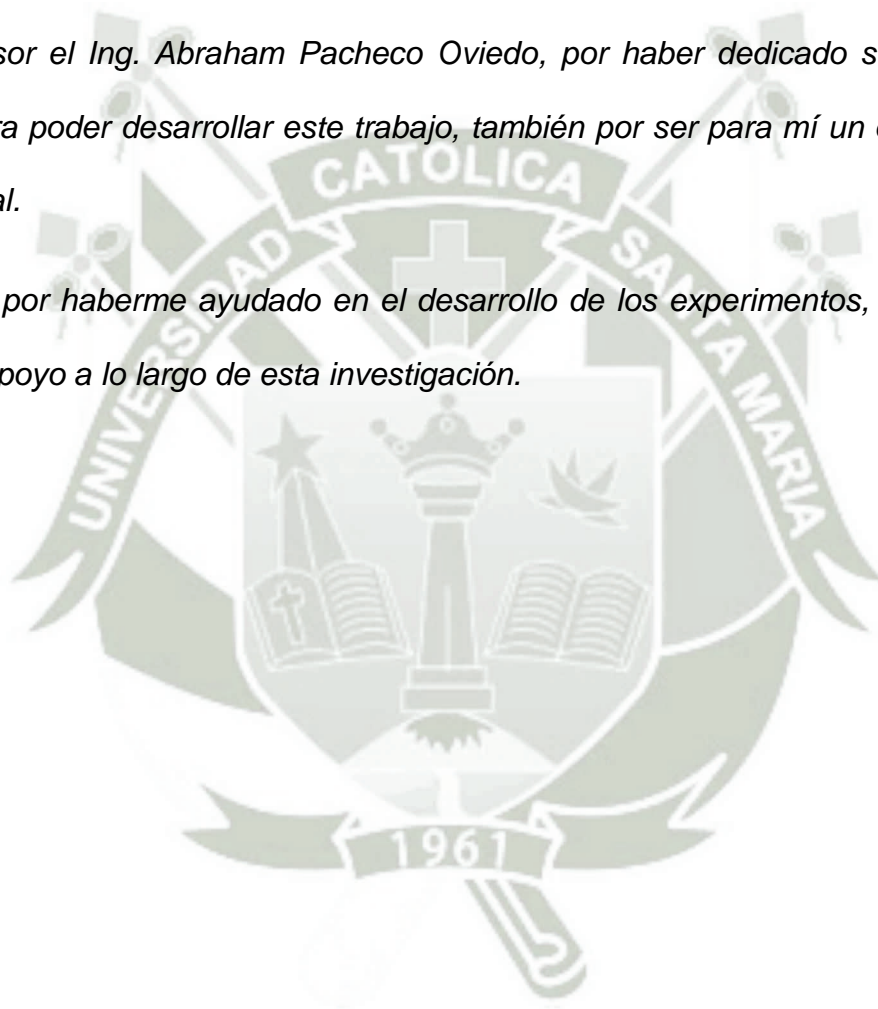
A Pamela por ser un apoyo constante y por compartir conmigo esta etapa en mi vida.

Agradecimiento

A mis catedráticos de la Universidad Católica de Santa María por haber compartido conmigo sus conocimientos y valores, buscando siempre hacer de mí un profesional de éxito

A mi asesor el Ing. Abraham Pacheco Oviedo, por haber dedicado su tiempo y apoyo para poder desarrollar este trabajo, también por ser para mí un ejemplo de profesional.

A Carlos por haberme ayudado en el desarrollo de los experimentos, mostrando siempre apoyo a lo largo de esta investigación.



Resumen

El presente trabajo de investigación, evalúa la eficiencia del proceso de oxidación avanzada Foto-Fenton para la degradación de los colorantes presentes en los efluentes de la industria textil.

El procedimiento presentado, se realizó en base a muestras tomadas de una empresa textil situada en la ciudad de Arequipa y que expulsa aproximadamente $20 m^3$ de efluentes diarios.

El proceso Foto Fenton está compuesto por cuatro etapas: filtración, acidificación, reacciones de oxidación y neutralización, desarrolladas en el capítulo experimental del presente estudio.

Luego de desarrollar el método aplicativo, se compararon las muestras antes y después de ser sometidas al proceso avanzado de oxidación, demostrando la eficiencia del proceso para la degradación de los colorantes textiles.

Finalmente, se determinaron conclusiones, que responden a cada uno de los objetivos planteados, y las recomendaciones que sugieren la implantación de procesos de degradación de colorantes en las empresas textiles, con la finalidad de reducir su impacto negativo en el ambiente.

Palabras claves: Proceso Avanzado de oxidación, Foto-Fenton, costos.

Abstract

The present work evaluates the efficiency of the advanced Foto-Fenton oxidation process for the degradation of the dyes present in the effluents of the textile industry.

The procedure presented was based on samples taken from a textile company located in the city of Arequipa and ejecting approximately 20 m³ of daily effluents.

The Foto-Fenton process is composed of four stages: filtration, acidification, oxidation and neutralization reactions, developed in the experimental chapter of the present study.

After developing the application method, the samples were compared before and after being subjected to the advanced oxidation process, demonstrating the efficiency of the process for the degradation of textile dyes.

Finally, conclusions were determined, which respond to each of the objectives, and recommendations that suggest the implementation of dye degradation processes in textile companies, in order to reduce their negative impact on the environment.

Keywords: Advanced oxidation process, Photo-Fenton, costs.

Contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	3
Capítulo I	7
MARCO METODOLOGICO	7
1.1 Problema	7
a) Identificación del problema.....	7
b) Descripción del problema.....	7
c) Formulación del problema.....	8
d) Justificación de la investigación	9
e) Limitaciones de la investigación.....	10
1.2 Objetivos de la investigación.....	10
a) Objetivo General.....	10
b) Objetivos Específicos	10
1.3 Hipótesis	11
1.4 Variables.....	11
1.5 Marco Metodológico	11
a) Nivel de investigación.....	11
b) Diseño de investigación	12
c) Población y muestra	12
d) Técnicas e instrumentos de recolección de datos	12
e) Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	12
1.6 Metodología a Seguir	13
Capítulo II	14
MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....	14
2.1 Antecedentes del problema.....	14
2.2 Bases Teóricas.....	20
a) Sector Textil y de confecciones.....	20
b) Proceso productivo, Sub sectores y actividades.....	21
c) Contaminación Ambiental	24
d) Aguas Residuales.....	24
e) Importancia del tratamiento de efluentes	25
f) Tipos de tratamientos.....	25
g) Sistemas naturales de depuración	29

Capítulo III	35
3.1. Análisis de la Normativa	35
3.2. Caracterización de los efluentes textiles	41
3.2.1. Actividad del Hilado	41
3.2.2. Actividad del Tejido	42
3.2.3. Actividades del teñido/acabado o tintorería	43
3.2.4. Actividad de Confección	43
3.3. Caracterización de las Muestras Tomadas	44
Capítulo IV	50
4.1. Introducción	50
4.2. Materiales y Reactivos	52
4.3. Reactivo de Feton	53
4.4. Sistema y Procedimiento Experimental	53
4.4.1. Sistema Experimental PAO	53
4.4.2. Prueba Inicial	55
4.4.3. Procedimiento Experimental PAO	57
4.5. Parámetros que influyen en el proceso	65
4.6. Ventajas e inconvenientes de los procesos Fenton y Foto-Fenton.	68
4.7. Características del Efluente final tratado	70
4.8. Análisis y Evaluación de la Propuesta	72
Capítulo V	74
5.1. Costo anual equivalente de agua tratada por medio del proceso Foto-Fenton.	74
5.1.1. Inversión	75
5.1.2. Costos Administrativos	75
5.1.3. Costos de Producción	76
5.2. Impacto Ambiental	81
Conclusiones	85
Recomendaciones:	87
Bibliografía	88

Listado de Tablas

Tabla 1: Tipo de Variable

Tabla 2: Valores máximos admitidos en la descarga de aguas residuales

Tabla 3: Valores máximos admitidos en la descarga de aguas residuales

Tabla 4: Valores típicos de contaminación de algunas aguas residuales industriales

Tabla 5: Operaciones según el tipo de fibra.

Tabla 6: Grandes y medianas empresas del sector textil

Tabla 7: Resultados de muestras empresas textiles

Tabla 8: Promedio de muestras tomadas

Tabla 9: Comparación VMA con promedio de muestras

Tabla 10: Potenciales redox de algunos agentes oxidantes en medio ácido

Tabla 11: Compuestos químicos usados en el experimento

Tabla 12: Comparación de muestra inicial y muestra filtrada

Tabla 13: Ventajas e inconvenientes del PAO Foto-Fenton

Tabla 14: Resultados y reducción muestra N°1

Tabla 15: Resultados y reducción muestra N°2

Tabla 16: Resultados y reducción muestra N°3

Tabla 17: Resultados y reducción muestra N°4

Tabla 18: Reducción promedio de las muestras de efluentes

Tabla 19: Comparación de los VMA con los valores promedio neutralizados

Tabla 20: Inversión inicial de equipos

Tabla 21: Costo Anual de los compuestos químicos

Tabla 22: Costo Anual de mano de obra

Tabla 23: Costo anual de mantenimiento

Tabla 24: Costo anual de energía

Tabla 25: Costo de tratamiento por metro cúbico

Tabla 26: Costo anual del PAO Foto-Fenton

Tabla 27: Parámetros a medir

Tabla 28: Cuadro de impacto ambiental

Tabla 29: Escala de impacto ambiental



Listado de Figuras

Figura 1: Proceso Productivo Textil

Figura 2: Mecanismos de reacción Foto-Fenton en la generación de radicales hidroxilo

Figura 3: Eldemeyer con muestra de efluente

Figura 4: Equipo Ozonificador

Figura 5: Especificación Ozonificador

Figura 6: Filtro Experimental de Carbón Activado

Figura 7: Procedimiento Experimental PAO

Figura 8: Procedimiento Experimental 1 hora de exposición

Figura 9: Procedimiento Experimental 3 horas de exposición

Figura 10: Muestra de efluente después de floculación con diatomita

Figura 11: Esquema del procedimiento Experimental

Figura 12: Proceso de Oxidación Avanzada Foto-Fenton



Introducción

El presente trabajo busca evaluar la eficiencia del proceso de oxidación avanzada Foto-Fenton para degradar colorantes presentes en los efluentes de la industria textil y de esta forma reducir su impacto negativo en el ambiente.

El agua como recurso natural es el más importante en nuestro planeta, ya que es el motor de crecimiento humano e industrial, el agua no puede reemplazarse por otro fluido en muchos usos, además que es proveedora de la vida misma.

Los contaminantes emitidos por la industria textil suelen ser complejos y de distintas composiciones físicas, químicas y biológicas, lo cual hace necesaria la combinación de procesos de degradación y neutralización para una efectiva remoción de los residuos desechados.

Actualmente en el Perú no existe una cultura de cuidado del medio ambiente para los desechos producidos en las industrias textiles. Las empresas no buscan un tratamiento para sus efluentes por el sentimiento de responsabilidad ambiental, sino, por el cumplimiento que se debe dar a normas y leyes.

Capítulo I

MARCO METODOLOGICO

1.1 Problema

a) Identificación del problema

Aumento de problemas ambientales en la provincia de Arequipa por la ausencia de procesos para la remoción de colorantes de los efluentes industriales textiles.

b) Descripción del problema

En los últimos años existe una grave contaminación del agua debido a productos químicos como fertilizantes, pesticidas y colorantes. La industria textil tiene en ello una aportación relevante, estas industrias textiles generan grandes volúmenes de aguas residuales contaminadas con colorantes. Debido a su alto peso molecular, sus estructuras complejas y especialmente a su alta solubilidad en el agua los colorantes usados por este tipo de industrias muestran gran persistencia en el ambiente.

La industria textil es muy desarrollada en la ciudad de Arequipa con empresas exportadoras muy reconocidas, el principal problema es que usan sustancias químicamente intensivas, utilizando una cantidad de diferentes productos químicos para todo, desde la tintura

de los tejidos, hasta las impresiones y los acabados. Las aguas residuales de estos procesos, a menudo, son tóxicas y pueden contaminar vías fluviales importantes. Estas peligrosas descargas, pueden afectar negativamente la salud humana, la fauna y el medio ambiente.

Las empresas textiles son las que requieren de mayor consumo de agua para su producción, sus efluentes tienen alto contenido de metales pesados como el cromo y otros contaminantes como sulfuros y amoníaco. En esta industria son pocas las empresas que tienen procesos para remover los colorantes en sus efluentes, en este estudio se pretenden evaluar y proponer un proceso mediante oxidación avanzada para remover los colorantes de los efluentes textiles eficientemente.

c) Formulación del problema

- ¿Cuáles son las sustancias químicas que participan en el proceso textil de tintorería y que tienen un impacto negativo en el medio ambiente?
- ¿Cuáles son los principales problemas ambientales que ocasiona la falta de remoción de los colorantes en los efluentes textiles?
- ¿Qué indicadores ambientales se usan para medir la contaminación?

- ¿Qué procesos existen para la remoción de los colorantes en los efluentes textiles?
- ¿Cuántas empresas textiles en Arequipa tienen un proceso para la remoción de colorantes en sus efluentes?
- ¿Cuál es la tecnología con la que cuentan las empresas textiles Arequipeñas para implantar un proceso de remoción de colorantes?
- ¿Cuántas y cuáles son las normas o leyes para el tratamiento de efluentes industriales textiles?
- ¿Qué otras sustancias con impacto ambiental negativo contienen los efluentes textiles?

d) Justificación de la investigación

- ¿Por qué se hace la investigación?
- La investigación se realiza para proponer un proceso que use la oxidación avanzada para remover los colorantes en los efluentes textiles eficientemente y así reducir el impacto de los colorantes en el medio ambiente.
- ¿Quién se beneficia?
- Los principales beneficiados con esta investigación son las empresas textiles arequipeñas, empresas químicas, la sociedad porque son los directamente afectados por los impactos ambientales de los colorantes presentes en los efluentes textiles.

e) Limitaciones de la investigación

- Este trabajo se limita a evaluar el procedimiento a nivel pruebas en laboratorio.
- Otra limitación es el hecho que al ser una prueba de laboratorio los materiales a utilizar durante la evaluación pueden diferir de los a aplicarse en pruebas a mayor escala, por el tipo de sustancia a utilizar, deben ser materiales con alta resistencia a la oxidación.

1.2 Objetivos de la investigación

a) Objetivo General

Evaluar la eficiencia del proceso de oxidación avanzada para la degradación de los colorantes en los efluentes textiles, para reducir el impacto ambiental que estos producen.

b) Objetivos Específicos

- Analizar la normatividad y Caracterización de los efluentes.
- Proponer la aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada.
- Analizar y Evaluar la eficiencia del proceso Foto-Fenton para la degradación de los efluentes textiles.
- Estimar los costos del proceso a escala industrial y estudiar su viabilidad y Evaluar los impactos ambientales a reducir.

1.3 Hipótesis

Es probable que al emplear un proceso de oxidación avanzada para la degradación de los colorantes presentes en los efluentes textiles se pueda reducir el impacto negativo que estos tienen en el medio ambiente.

1.4 Variables

Tabla N°1: Tipo de Variable

Variab les		Indicadores
Proceso de Oxidación Avanzada	<ul style="list-style-type: none"> • Independiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia del proceso • Concentración de colorantes. • Temperatura de los efluentes • pH de los efluentes
Degradación Colorantes	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de colorantes • Reducción de otras sustancias toxicas
Reducir Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la contaminación. • Indicadores ambientales

Elaboración: Propia

1.5 Marco Metodológico

a) Nivel de investigación

El Tipo de investigación es explicativa y experimental, ya que se evaluara el proceso de oxidación avanzada mediante experimentos y

se buscara determinar los problemas ambientales causados por los colorantes textiles.

b) Diseño de investigación

La investigación es experimental ya que se someterá a las muestras recolectadas a pruebas de análisis para determinar su composición y como estos componentes tienen un impacto ambiental.

c) Población y muestra

La población en mi investigación son las empresas textiles de la ciudad de Arequipa y el tipo de muestreo que se usara será, el probabilístico ya que existe la probabilidad de que los efluentes de estas empresas estén dentro de los parámetros que se buscan.

d) Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La principal técnica que se usara en esta investigación será la observación directa y los instrumentos que se usaran serán fichas.

e) Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para analizar los datos, serán sometidos a operaciones de clasificación y registro y las técnicas de análisis serán lógicas.

1.6 Metodología a Seguir

Determinar la caracterización de los Efluentes de muestras de Industrias Textiles: Se tomaran muestran representativas de empresas textiles de la ciudad de Arequipa para determinar valores promedios.

Aplicación del proceso avanzado de oxidación Foto-Fenton: Se aplicara el proceso avanzado de oxidación en las muestras de efluentes y se analizaran los resultados obtenidos.

Determinar el costo de utilizar el proceso avanzado de oxidación y determinar su impacto ambiental: Se calculara el costo total, donde se incluyan costos directos e indirectos del aplicar el proceso en una empresa textil, también se determinara cuanto fue la disminución en el impacto ambiental.

Capítulo II

MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes del problema

A continuación, se van a presentar, los trabajos de grado que han sido base y referencia para el desarrollo de este proyecto de investigación:

- **“Degradación de un efluente textil real mediante procesos de Fenton y Foto-Fenton”, José Blanco Jurado, julio 2009**

Resumen:

La creciente demanda de la sociedad por la remediación de aguas contaminadas de diversos orígenes, materializada en regulaciones cada vez más estrictas, ha impulsado en los últimos años, al desarrollo de nuevas tecnologías de depuración.

Los procesos avanzados de oxidación (PAOs) se basan en su capacidad de generación in-situ de radicales hidroxilo (OH), especie con elevado potencial de oxidación mediante la combinación de un agente oxidante (H_2O_2) con un catalizador (Fe (II)) y/o radiación UV. Estos radicales (OH) son capaces de oxidar muchos compuestos orgánicos de forma no

selectiva y con altas velocidades de reacción. Esta propiedad es aprovechada para conseguir la completa mineralización de los contaminantes o su degradación en sustancias más fácilmente biodegradables.

Se pretende desarrollar una alternativa eficaz para la eliminación de materia orgánica de efluentes residuales mediante la aplicación de PAOs, más concretamente procesos de Fenton, de Foto-Fenton y de la combinación de un tratamiento biológico seguido de un PAO. Se ha seleccionado para el tratamiento un efluente procedente de una empresa textil ubicada en el Valles Occidental de Barcelona. Se ha realizado un análisis comparativo de los distintos procesos empleados, determinando las mejores condiciones de operación para conseguir la máxima eficacia, en términos de reducir el contenido de materia orgánica.

Encontradas la condiciones para cada tratamiento, tanto el proceso de Fenton como de Foto-Fenton consiguieron reducir la concentración de materia orgánica del efluente textil entre el 65-75% respectivamente. El proceso acoplado de biológico y Fenton llegó a degradar un 92%, por lo que muestra unos resultados superiores respecto a los anteriores.

Los PAO son tratamientos que utilizan reactivos caros por lo que el coste del proceso sería elevado, pero su efectividad en efluentes con materia orgánica que no es capaz de

degradarse biológicamente, les convierte en alternativas variables. Siempre dejado la puerta abierta a nuevos retos de ID+i para poder convertir este tipo de procesos económica, técnica y medioambientalmente sostenibles.

- **“Evaluación de la contaminación generada por el vertido de aguas residuales provenientes de la industria textil en Zinapécuaro, Michoacan” Guadalupe Emilio Flores Torres. México 2004**

Resumen:

Basado en las constantes manifestaciones de reclamo por parte de la sociedad civil a las autoridades del Municipio de Zinapécuaro, Michoacán y al apoyo solicitado al IPN, el presente estudio analiza las descargas de aguas residuales provenientes de la industria textil instalada en dicho lugar, así como la posible contaminación del suelo. El reclamo de las manifestaciones civiles son encaminadas a que se tomen medidas correctivas en dicha actividad industrial, la que se instaló desde 1997 y desde entonces vierte miles de litros de aguas residuales al suelo, formando pequeños arroyos, los que finalmente desembocan en el río Zinapécuaro y éste a su vez al lago de Cuitzeo . Esta industria se desarrolló con el aval del gobierno estatal, a través de la Comisión para el Desarrollo de Michoacán y específicamente por la Secretaría de Fomento Industrial con la consigna de crear nuevas fuentes de empleo

y así abatir el elevado porcentaje de emigración a los E.U. que presenta este Municipio. De los resultados obtenidos se logró establecer que los efluentes poseen valores de metales pesados dentro de la normatividad, no obstante es innegable que existen dichos elementos y por tanto su potencialidad de contaminar; también se determinó que la DBO es el principal contaminante de dichos efluentes. La cabecera municipal tiene una población de casi 15 000 habitantes, la industria textil genera 800 empleos, pero solo 30 de éstos son ocupados por los lugareños, lo que demuestra que la misión de la empresa de generar empleos en la zona de interés se cumplió parcialmente.

- **“Diseño de reactores empacados para la remoción de color de aguas residuales industriales” Francisco Alejandro Alatorre Acosta, México 2007.**

Resumen:

Se estudió el comportamiento hidráulico de 5 reactores aerobios empacados con turba modificada (inoculada con el hongo *Pleurotus ostreatus*) a escala laboratorio y con geometrías diferentes para determinar la influencia de su forma sobre el desempeño en la remoción del colorante azul directo 2.

El estudio se dividió en 2 etapas: en la primera etapa se efectuaron pruebas hidrodinámicas y estudios de trazado,

teniendo como medio de empaque solo la turba; en la segunda etapa los reactores operaron durante 150 días teniendo como empaque la turba modificada para la eliminación del colorante.

La concentración inicial de colorante en el influente fue de 500 mg/l realizando recirculaciones al 60% del efluente.

Con los resultados de los estudios de trazado y el análisis de la información, se concluyó que una relación largo-ancho de los reactores empacados de 6:1, presenta un mejor funcionamiento hidráulico, menor cantidad de zonas muertas y por consiguiente mayor eficiencia. Durante los 150 días de operación se observó una relación existente entre la remoción de color y las zonas muertas que influyen directamente en la disminución de la eficiencia de los reactores. Los reactores removieron en promedio 50% del colorante durante los primeros 100 días de operación, después del día 100 se logró aumentar la remoción del colorante al 60% en solo 30 días al reducir 65% del volumen inicial del influente, lo cual indicó una recuperación del sistema después recibir altas cargas durante un periodo prolongado de operación.

Se demostró que un buen funcionamiento de este tipo de reactores estará principalmente relacionado en función directa con su geometría, es decir la relación largo-ancho. La relación 6:1 demostró tener un mejor desempeño en la remoción de

color y un mejor funcionamiento hidráulico ya que presenta menor cantidad de zonas muertas en comparación con las otras formas geométricas.

- **“PROPUESTA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (P+L) EN EL PROCESO DE TINTURADO, EN LA INDUSTRIA “TEXTILES MARÍA BELÉN” UBICADA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”. Sofía Johanna Morillo Chandi, Quito 2012**

Resumen:

El presente estudio evalúa la minimización económica del impacto ambiental de la industria textil considerando los ahorros en el consumo de insumos y el recurso agua.

Se analizaron 2 opciones de minimización: disminución de consumo de químicos y auxiliares en la máquina de tintura JET 1 y disminución de consumo de agua, ácido y dispersante por reusó de baños de tintura de algodón.

La metodología de investigación del proyecto es la asignada por el Centro Ecuatoriano de Producción más Limpia, que explica el procedimiento, las técnicas o instrumentos y los productos esperados de la investigación.

Durante la investigación se realizan visitas periódicas para el reconocimiento de la planta; maquinaria, equipos, análisis de procesos administrativos y operativos. Se recolecto información primaria y secundaria sobre datos de proceso,

materias primas, consumo de recursos. Se realizaron encuestas estructuradas y entrevistas al personal de la empresa y análisis de laboratorio de las descargas líquidas.

Se tomaron muestras de las descargas de aguas residuales en los efluentes al alcantarillado municipal, según los procedimientos establecidos en los métodos estándar para el análisis de aguas, los resultados evidencian que el único parámetro fuera de norma es el DQO.

El análisis económico muestra que la implementación de estos proyectos de producción más limpia arroja un beneficio económico de USD 9883,83 con una inversión de USD 1785,00 durante un tiempo de recuperación de la inversión de siete meses y medio. Entre los beneficios ambientales se manifiestan la disminución de la carga contaminante y el consumo de agua en un 66,7%

2.2 Bases Teóricas

En el presente trabajo se busca degradar los colorantes en los efluentes provenientes de la industria textil usando un proceso de oxidación avanzada, para eso se deben de tener distintos conceptos básicos de términos relevantes en esta investigación:

a) Sector Textil y de confecciones

La industria textil y de confecciones es uno de los sectores manufactureros de mayor importancia para el desarrollo de la economía nacional, por sus características y potencial constituye una industria altamente integrada, altamente generadora de empleo y que utiliza en gran medida recursos naturales del país.

En tal sentido, la industria textil y de confecciones genera demanda a otros sectores, como el agrícola por el cultivo de algodón; el ganadero, para la obtención de pelos finos y lanas; la industria de plásticos, para los botones, cierres y otros; la industria química, por la utilización de insumos, etc. (Sánchez Y, 2003).

b) Proceso productivo, Sub sectores y actividades

Metodológicamente, se puede distinguir dos grandes sub sectores dentro de la gran cadena de valor que constituye la actividad manufacturera textil: la industria textil propiamente dicha y la industria de la confección. La primera abarca desde la etapa inicial del desmote del algodón hasta la elaboración de telas acabadas, e incluye, a su vez, a las actividades de hilado, tejido y teñido/acabado. De otra parte, la segunda comprende todas las actividades vinculadas a la confección de prendas de vestir Cabe mencionar, que las diversas operaciones que se realizan a lo largo del proceso textil difieren de una fábrica a otra, según el tipo de fibra empleada, la clase de hilado, la tela a producir y la clase de maquinaria disponible.

Sin embargo, los procesos descritos a continuación ilustran de manera general la fabricación de textiles.

(Sánchez Y, 2003).



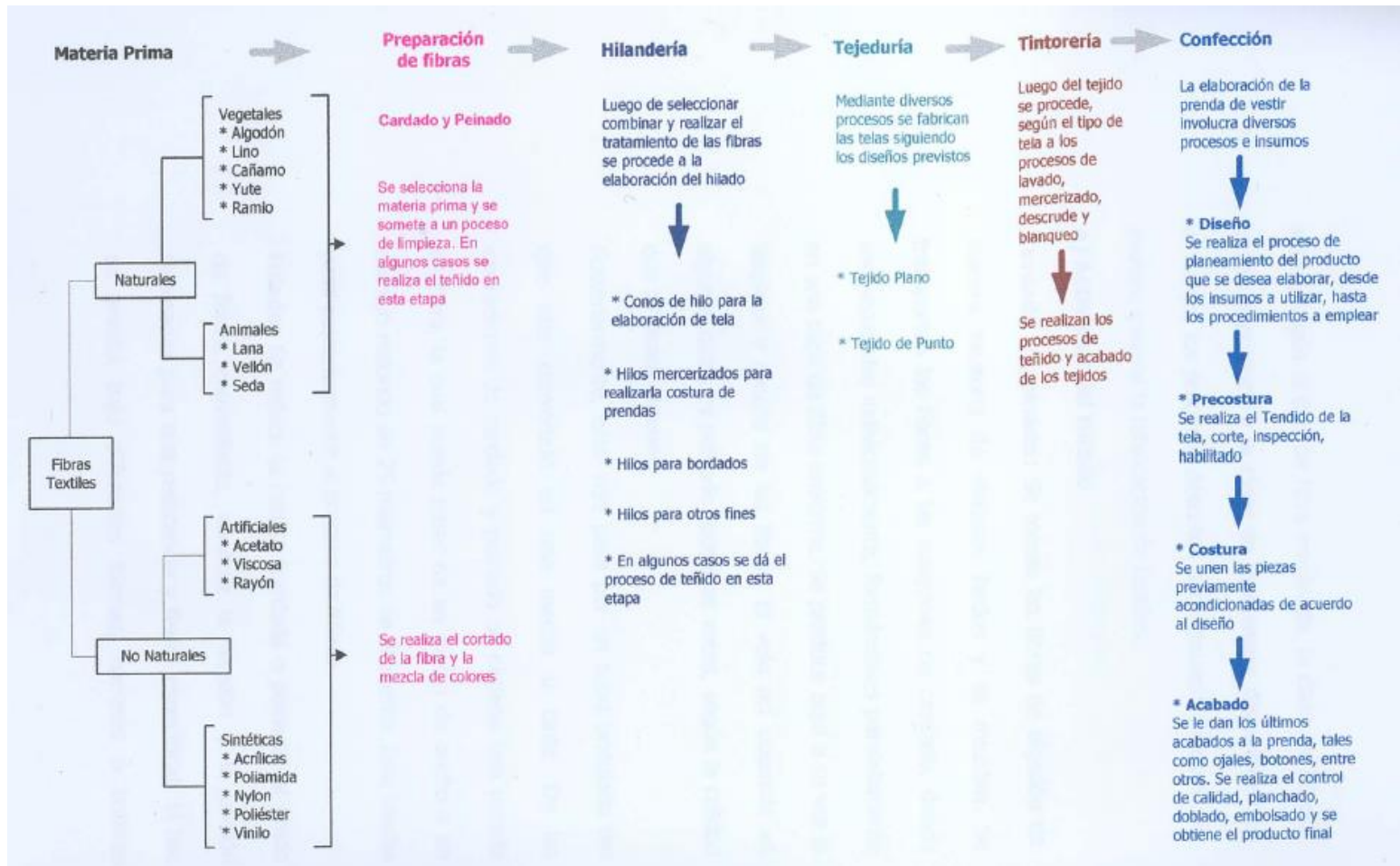


Figura N°1: Banco Wiese Sudamericano, Proceso Productivo Textil

c) Contaminación Ambiental

La contaminación es la introducción de sustancias en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido, calor, luz o radiactividad).

Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio, y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental.

d) Aguas Residuales

Las aguas residuales industriales son aquellas provenientes de procesos post-industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su derivación en las respectivas redes, de vertido, depuradoras o en sistemas naturales (tales como lagos, ríos, embalses, etc.), ya que sus características y composición difieren de las aguas residuales urbanas. (Da Cámara, L.; Hernández, M.; Paz, L., 2003).

e) Importancia del tratamiento de efluentes

Los efluentes que son vertidos sin previo tratamiento o con un mínimo de tratamiento, a cualquier tipo de cuerpo receptor, terminan afectando y disminuyendo la calidad del agua, suelo, aire, poblaciones vegetales, animales y humanas circundantes, restringiendo por lo tanto la disponibilidad de esos mismos recursos para las generaciones futuras. (Sosa, R. 2013) Es decir, se rompe el principio de la sustentabilidad, entendiendo al mismo como “aquel que responde a las necesidades del presente de forma igualitaria pero sin comprometer las posibilidades de sobrevivencia y prosperidad de las generaciones futuras”. Concepto que fue desarrollado y divulgado a partir del Informe Brundtland – Nuestro Futuro Común (WCED, 1987).

f) Tipos de tratamientos

- **Tratamientos físicos y químicos**

Los tratamientos físicos no generan sustancias nuevas sino que concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtrar los sólidos de tamaño considerable. Los más comunes son: separación de sólidos, sedimentación, filtración, flotación, separación de aceites y grasas.

Los tratamientos químicos acondicionan los vertidos para su posterior depuración. Los más frecuentes son:

- Insolubilización de sustancias. Es importante cuando los vertidos contienen anhídrido sulfuroso, ya que la adición de cal lo elimina, precipitándolo.
- Coagulación y sedimentación de sólidos en suspensión.
- Corrección del pH para favorecer las condiciones de depuración biológica. Se procura que el agua alcance un rango de pH que sea adecuado para permitir el desarrollo correcto de los organismos encargados de realizar la depuración biológica.
- Oxidación química (O₂, O₃). Las aguas residuales se enriquecen de oxígeno para favorecer el crecimiento de microorganismos aeróbicos.

- **Tratamientos Biológicos**

Estos tratamientos son los más adecuados a emplear en aguas cargadas con materia orgánica. Los microorganismos encargados de depurar el agua pueden ser aerobios o anaerobios. Las bacterias y otros microorganismos destruyen y metabolizan la materia orgánica soluble y coloidal, reduciendo la DBO a valores inferiores a 100 mg/L. (Proyecto LIFE Sinergia, 2006).

En el metabolismo bacteriano de oxidación de la materia orgánica juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones.

Atendiendo a cual es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos:

Sistemas aerobios: La presencia de O_2 hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.

Sistemas anaerobios: En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO_2 o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono en su estado más reducido, CH_4 . La utilización de este sistema, tendría como ventaja importante, la obtención de un gas combustible.

Sistemas anóxicos: Se denominan así los sistemas en los que hay ausencia de O_2 y presencia de NO_3 , siendo este último elemento el aceptor de electrones, y transformándose, en N_2 , entre otros. (Sosa, R. 2013)

Procesos biológicos aerobios

Son muchas las posibilidades de tratamiento:

Cultivos en suspensión: Proceso de fangos activados (lodos activados), y modificaciones en la forma de operar:

aireación prolongada, contacto-estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR).

Cultivos fijos: Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos).(Fernández-Alba, A y otros, 2008)

Procesos biológicos anaerobios

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos. Realmente, es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y

en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso (hidrólisis, formación de ácidos y acetato, metanogénesis), la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio.(Fernández-Alba, A y otros, 2008)

Entre las ventajas más significativas del tratamiento anaerobio frente al aerobio cabe destacar la alta eficacia de los sistemas, incluso en aguas residuales de alta carga, el bajo consumo de energía, pequeña producción de fangos y por tanto, pequeño requerimiento de nutrientes, así como su eficacia ante alteraciones importantes de carga y posibilidad de grandes periodos de parada sin alteración importante en la población bacteriana. Sin embargo, como desventajas caben destacar la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los generalmente largos periodos de puesta en marcha. (Fernández-Alba, A y otros, 2008).

g) Sistemas naturales de depuración

Bajo de la denominación de métodos de depuración natural, se engloban aquellos procedimientos en los que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural.

Habitualmente se diferencian dos grandes grupos: los métodos de tratamiento mediante aplicación en el terreno y los sistemas acuáticos. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción de la vegetación, suelo, microorganismos (terrestres y acuáticos) y en menor medida, a la acción de animales superiores, sin la intervención de agentes artificiales. Estos procedimientos naturales se caracterizan, en general, por sus menores necesidades de personal de operaciones, menor consumo energético y menor producción de fangos. Sin embargo, habitualmente requieren mayores superficies de terreno disponibles. Este factor, a veces limitante, es el que determina que los llamados métodos naturales de depuración sean los apropiados y aconsejados para determinadas situaciones. (Merino, 2003).

Entre los métodos de tratamiento en el terreno se incluyen habitualmente los siguientes tipos:

- Filtro verde.
- Infiltración rápida.
- Escorrentía superficial.
- Lechos de turba.
- Lechos de arena.

El rasgo común a todos ellos es que la depuración se consigue a través de los procesos físicos, químicos y biológicos naturales, desarrollados en un sistema planta–suelo–agua.

Los llamados métodos acuáticos se basan en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el que microorganismos y plantas principalmente, transforman los contaminantes. Incluyen tres tipos básicos:(Merino, 2003)

- Lagunas.
- Humedales.
- Cultivos acuáticos

Además de estas metodologías, es posible realizar una combinación de ellas de acuerdo a las necesidades y problemas que se presenten, ya que cada efluente, cada terreno y cada industria posee su particularidad en cuanto a superficies disponibles, capacidad económica para instalar una planta de tratamiento, contratación de ingenieros y personal capacitado para asesoramiento y construcción, compromiso con el medio ambiente, responsabilidad social empresaria, exigencias de la normativa de acuerdo a donde pretende ser volcado ese efluente tratado, etc. (Sosa, R. 2013).

Procesos de Oxidación Avanzada

Los procesos Avanzados de Oxidación (PAOs), han sido propuestos como alternativas eficaces en el tratamiento de aguas contaminadas y en la depuración de suelos.

a) Procesos Fenton y Foto-Fenton

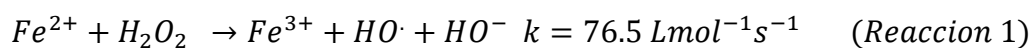
Los procesos Fenton y Foto-Fenton son considerados los más prometedores entre los diferentes PAOs disponibles, debido principalmente a su elevada eficacia y bajo costo en la remediación de aguas contaminadas con compuestos no biodegradables y/o no tóxicos. El proceso Fenton ha resultado efectivo para degradar compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PBCs, nitroaromaticos, colorantes azo, clorobenceno, fenoles. Son muy pocos los compuestos que no pueden ser atacados por este reactivo; entre ellos la acetona o el ácido acético (Jurado J, 2009).

Este proceso ha sido aplicado con mucho éxito en la reducción de la DQO de aguas municipales y subterráneas y en el tratamiento de efluentes de vertederos municipales y empresas textiles y papeleras.

b) Mecanismo Fenton y Foto Fenton

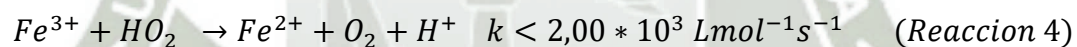
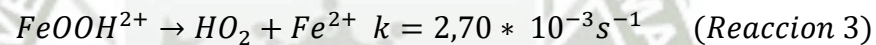
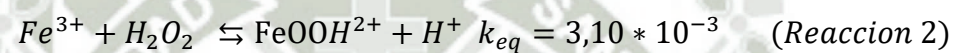
- Proceso de Fenton

La generación de radicales hidroxilo se provoca al combinar peróxido de hidrogeno y una sal de hierro (II), mezcla que se denomina Fenton (Reacción 1). Esta reacción térmica es muy rápida y se produce en oscuridad, se omiten los ligandos del agua en las reacciones.



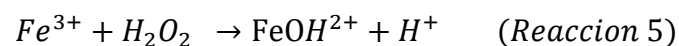
El ion Fe (III) puede reducirse por reacción con H_2O_2 y formar de nuevo ion Fe (II) y más radicales hidroxilo. Este segundo proceso se denomina *Fenton-like*. Es más lento que el proceso Fenton y permite la regeneración de FE (II) (Jurado J, 2009).

El mecanismo global resulta de carácter catalítico. Para ello es necesario que el peróxido se encuentre en exceso respecto a la cantidad de hierro añadida (Reacción 2-4).



- Proceso de Foto-Fenton

La presencia de una fuente de luz acelera la degradación de contaminantes. El proceso recibe el nombre de Foto-Fenton (reacciones 5 y 6), en este caso el reciclaje de Fe (III) es posible a través de un proceso fotorreductor. (Figura 2)



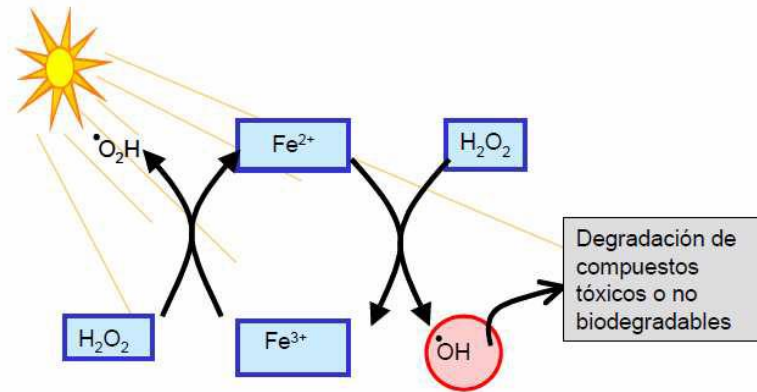
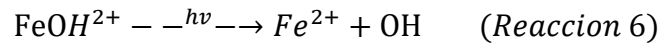


Figura N°2: Jose Blanco Jurado, Mecanismo de reacción Foto-Fenton en la generación de radicales hidroxilo

Esta es una reacción más rápida que la de Fenton-like (Reacciones 2-4), y requiere hasta 410 nm, es decir, puede llegar a tener lugar con la participación de la luz solar.

Paralelamente, la irradiación de Fe (III) con H_2O_2 da lugar a la formación de intermedios de hierro con alto estado de oxidación, responsables del ataque directo a la materia orgánica. La absorción de luz visible del complejo formado entre Fe(III) y el peróxido parece ser la causa de la formación de tales oxidantes. Aparece, por tanto una vía alternativa de oxidación de contaminantes al margen del radical hidroxilo (Jurado J, 2009).

Capítulo III

ANÁLISIS DE LA NORMATIVA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES

3.1. Análisis de la Normativa

En este capítulo se realizara un análisis de la normatividad que existe en el Perú sobre los valores máximos admisibles.

El vertido de aguas residuales industriales al alcantarillado está regulado por el decreto supremo N° 021-2009-VIVIENDA Y SU REGLAMENTO (VMA) que establece los siguientes valores máximos de los principales parámetros del agua para su descarga:

Tabla N°2: Valores máximos admitidos en la descarga de aguas residuales

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESION	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/l	DBO	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	1000

Elaboración: SEDAPAR

La presente norma tiene como finalidad evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, equipos y maquinarias, para asegurar el adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales

Tabla N°3: Valores máximos admitidos en la descarga de aguas residuales

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESION	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo Total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Zinc	mg/l	Zn	10
pH	unidad	pH	6-9
Solidos Sedimentales	M/L/H	S.S.	8.5
Temperatura	mg/l	T	<35

Elaboración: SEDAPAR

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aquellos valores de la concentración de elementos, sustancias o parámetros químicos y/o físicos que caracterizan a un efluente no domestico que va ser descargado a la red de alcantarillado y que tendrá un impacto

negativo inmediato o progresivo en los procesos de tratamiento de aguas residuales.



Tabla N°4: Valores típicos de contaminación de aguas residuales industriales textiles

Tipo de industria	Consumo de agua	Producción ARI	pH (uds)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	S.S.T. (mg/l)	A y G (mg/l)
Industria textil							
Algodón	100-250 m3/t	100-250 m3/t	>9	200-600	500-2000	100-200	100-200
Lana (producción)	50-100 m3/t	50-100 m3/t	>9	300-2500	500-4000	100-200	100-200
Lana (lavado)	100-250 m3/t	100-250 m3/t	>9	3000-25000	4000-40000	3000-30000	5000-25000
Fibras Sintéticas	100-250 m3/t	100-250 m3/t	>9	300-2000	600-3000	500-1000	-

Elaboración: SEDAPAR

En la tabla N°3 podemos ver parámetros por cada sector industrial textil, estos parámetros serán tomados de muestras puntuales.

Si las empresas Industriales que tienen descargas que sobrepasan los valores máximos, tendrán que pagar una tarifa establecida por el ente competente o hasta podrían sufrir la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Según el Art. 56 son derechos de SEDAPAR suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes no domésticos no cumplan con los VMA

El artículo 9 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, concordante con el literal i) del artículo 72 del T.U.O del Reglamento, nos indica que no está permitido descargar, verter, arrojar o introducir bajo cualquier modalidad al sistema de alcantarillado sanitario, elementos tales como:

- Residuos sólidos
- Material orgánico de cualquier tipo y estado
- Mezclas inflamables, radioactivas, explosivas, corrosivas, tóxicas y/o venenosas que provoquen daño al sistema de alcantarillado.
- Aquellas descargas que puedan causar obstrucciones físicas, interferencias, perturbaciones
- Residuos sólidos o viscosos, capaces de obstruir el libre flujo.
- Gases procedentes de escapes de motores de cualquier tipo.

- Disolventes orgánicos y pintura, cualquiera sea su proporción o cantidad.
- Carburo calcio y otras sustancias sólidas potencialmente peligrosas, tales como hidruros, peróxidos, clorados, bromatos y sus derivados.
- Hidrocarburos y sus derivados
- Materias colorantes
- Agua salobre
- Residuos que generen gases nocivos.

SEDAPAR, podrá cobrar a los usuarios el costo adicional correspondiente a las descargas en el servicio de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles establecidos por la normativa correspondiente, conforme con la metodología aprobada por la SUNASS.

En el Art. 4 nos indica que la SUNASS supervisara y fiscalizara a SEDAPAR el cumplimiento de efectuar el monitoreo y control de la concentración de parámetros de descarga de aguas residuales no domesticas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario.

3.2. Caracterización de los efluentes textiles

Para realizar esta caracterización vamos a explicar los procesos básicos que se realizan en la industria textil.

3.2.1. Actividad del Hilado

Cardado y peinado: En este proceso se toman las fibras de algodón de distintos fardos y se mezclan. Estas fibras son colocada en las máquinas de cardado, donde son separadas individualmente, formándolas paralelamente en una capa de fibra uniforme. Aquí también se realiza a la vez la limpieza y mezcla de las fibras.

Luego, este velo pasa por un tubo ondulado del que sale convertido en una mecha o cinta. De las operaciones de cardado y peinado se obtiene una mezcla de fibra, esta puede pasar de un metro de ancho a un manojo redondo de 25 milímetros de diámetro. Esta mecha pasa posteriormente al proceso de hilado.

En este proceso no ingresa ningún químico contaminante en las fibras, las operaciones se realizan en máquinas.

Hilado: Se reduce la mecha al grado de finura conveniente, dándole la tensión y la torsión necesarias para una resistencia y finura específicas. El hilo se enrolla bajo diferentes formas, carretes o bobinas cilíndricas o cónicas, los que pueden ser teñidos o enviados directamente al sector de tejeduría. Estas

actividades forman parte de la industria textil propiamente dicha, aquí tampoco ingresa ningún compuesto químico.

Teñido de hilado: Los carretes o bobinas se someten a un tratamiento con soluciones de soda cáustica y detergentes en máquinas a presión (descruce), que eliminan las impurezas del algodón (pectinas, ceras, etc.). Dependiendo del tipo de producto final deseado, las bobinas, después de ser enjuagadas, son teñidas utilizando diferentes colorantes y auxiliares.

3.2.2. Actividad del Tejido

Tejido: Este proceso consiste en enlazar los hilos de la urdimbre y tramarlos con otros en una tela. Los hilos pueden tejerse en telares lanzadera (tejido plano) o en máquinas circulares (tejido de punto).

En el caso de los planos, luego del tejido pasan por un proceso de quemado que elimina las cascarillas y pelusas, resultando un tejido de espesor uniforme. Posteriormente, se realiza la limpieza de la tela y se le da un acabado básico, que generalmente incluye el mercerizado (estiramiento del hilado o tejido bajo tensión para darle resistencia, lustre y afinidad de los colorantes) y el descruce (remueve impurezas adheridas a las fibras).

3.2.3. Actividades del teñido/acabado o tintorería

Teñido de la tela: Es una de las etapas más complejas y contaminantes del proceso productivo, pues involucra una gran variedad de colorantes y agentes auxiliares de teñido. Son tres los principales factores del teñido: las fibras, el colorante y el medio que las pone en contacto, que es usualmente agua.

La calidad de la tintura depende del equipamiento empleado, la fórmula específica, los tintes y auxiliares de tintes que proveen el medio químico para su difusión y fijación sobre la tinta.

Acabado final: Incluye una serie de operaciones químicas y mecánicas a las que se someten los hilados y tejidos planos y de punto con el fin de darles las especificaciones finales deseadas.

3.2.4. Actividad de Confección

Confección: Esta etapa, es la última actividad en la elaboración de prendas de vestir, forma la otra gran industria dentro del sector textil y de confecciones. En términos generales, la confección incluye a su vez cuatro etapas: el diseño, la pre-costura, la costura y el acabado. En esta etapa no se introducen ningún compuesto químico.

3.3. Caracterización de las Muestras Tomadas

Después de la descripción de los procesos textiles identificamos que los procesos se engloban en tres términos: Preparación, Tintura y Acabados. Estos procesos generan la mayor parte de los efluentes en la industria textil. En la siguiente tabla se indican las diferentes operaciones que consumen agua dependiendo del tipo de fibra utilizada.

Tabla N°5: Operaciones según el tipo de fibra

FASE	OPERACIÓN	TIPO DE FIBRA		
		ALGODÓN	LANA	POLIESTER
Preparación	Desencolado	X		X
	Desengrasado		X	
	Carbonización		X	
	Batanado		X	
	Descrudado	X		X
	Mercerizado	X		
	Blanqueo Químico	X	X	
Tintura	Tintura/Estampado	X	X	X
Acabado	Acabados	X	X	X

Elaboración: Propia

Las características de las aguas residuales que se generan por una determinada planta textil dependerán de las operaciones específicas que se realicen, y estas operaciones dependen del tipo de fibra tratada.

A pesar de la variedad de procesos y productos químicos utilizados, los efluentes producidos por la industria textil tienen las siguientes características comunes:

1. Variedad de Caudal: Los efluentes de la industria textil presentan variabilidad horaria en función a los procesos productivos que se alternan con teñido y enjuague.
2. Gran carga contaminante: Se debe principalmente a la presencia de pelusas, tintes, reactivos químicos disueltos
3. Bajo contenido de materias en suspensión y coloidales.
4. Mayormente son coloreadas: Provocado por los tintes usados en los procesos de tintorería.
5. Su carga orgánica media es aproximadamente el doble que el agua residual urbana.
6. Deficientes en nutrientes, principalmente en hidrogeno
7. Usualmente no contiene productos tóxicos ni microorganismos patógenos.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó un muestro de los efluentes de las grandes y medianas empresas del sector textil de la ciudad de Arequipa. Es importante indicar que lo que se busca en esta investigación es determinar la eficiencia del proceso de oxidación avanzada en distintas industrias textiles.

**Tabla N°6: Grandes y medianas empresas del Sector
textil**

RUC

Razón Social

20413770204	Art Atlas S.R.L.
20121597145	Clasificadora de Lanas Macedo SAC
20100231817	Franky y Ricky S.A.
20100199743	Inca Tops S.A.A.
20100226813	Incalpaca Textiles Peruanos de Export SA
20327397258	Inkabor S.A.C
20170291345	Mfh Knits S.A.C.
20100192650	Michell y Cia S.A.

Elaboración: SIICEX

Se tomaron muestras de 4 empresas textiles para poder obtener una caracterización adecuada de los efluentes de la industria textil.

Se analizaron 6 parámetros en estas muestras Ph, DQO total, DBO, SST, Aceites Grasas e índices de color, estas muestras fueron analizadas por la empresa SEQUITECSA y nos dio los siguientes resultados. (Ver Tabla N°6)

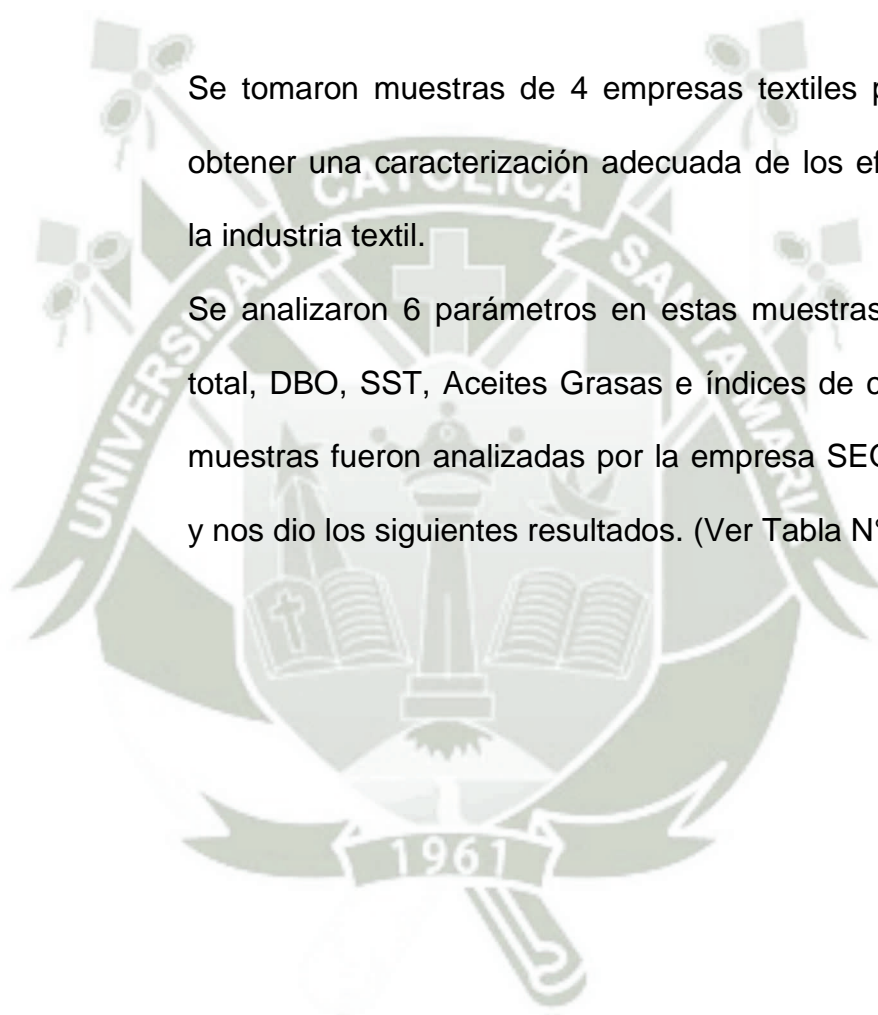


Tabla N°7: Resultados de muestras empresas Textiles

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Ph	Unid, Ph	7	6.5	7	7
DQO total	mg/l	1500	1475	1525	1500
DBO	mg/l	650	650	650	625
SST	mg/l	500	500	475	500
Aceites y grasas	mg/l	100	100	100	100
Índice de Color	(cm ⁻¹)	1.485	1.52	1.45	1.48

Elaboración: Propia

Tabla N°8: Promedio de muestras tomadas

Parámetro	Unidad	Promedio
Ph	Unid, Ph	7
DQO total	mg/l	1500
DBO	mg/l	644
SST	mg/l	494
Aceites y grasas	mg/l	100
Índice de Color	(cm ⁻¹)	1.484

Elaboración: Propia

En la siguiente tabla se comparan los resultados del promedio de las muestras con los valores máximos admitidos en la descarga de aguas residuales establecidos por SEDAPAR.

Tabla N°9: Comparación VMA con promedio de muestras

Parámetro	Unidad	Expresión	Valores Máximos Admitidos	Promedio Muestras
Ph	Unid, Ph	Ph	6-9	7
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO total	1000	1500
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	DBO	500	644
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500	494
Aceites y grasas	mg/l	A y G	1000	100

Elaboración: Propia

- El Ph de la muestras está dentro del parámetro máximo admitido, esto se debe a que el ph de los efluentes muchas veces es regulado por las empresas textiles hasta obtener un valor neutro.
- La DQO de la muestras es superior al valor máximo admitido, estos nos indica que los efluentes tienen un alto grado de contaminación.

- La DBO de la muestra nos indica la presencia de materia orgánica, debido a la degradación de materia orgánica, este parámetro debe ser reducido.
- El cuarto parámetro está en el límite de lo admitido, lo que no nos asegura que este totalmente controlado.
- El parámetro de Aceites y Grasas está dentro de lo admitido por los valores máximos.

Un parámetro importante es el índice de color del efluente, si bien SEDAPAR no especifica un valor máximo admitido, lo que se busca en esta investigación es mantener los primeros cinco parámetros dentro de los valores admitidos, usando un proceso de oxidación avanzada que al mismo tiempo provoque una decoloración de efluente para así reducir el impacto ambiental que este pueda producir.

Capítulo IV

PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACION AVANZADA

En este capítulo se presenta el método experimental para la decoloración de los efluentes textiles mediante la realización de experimentos correspondientes al proceso de oxidación avanzada Foto-Fenton.

4.1. Introducción

La presencia de compuestos tóxicos y/o recalcitrantes supone un problema para los tratamientos biológicos convencionales. Los tratamientos mencionados anteriormente tampoco son capaces de eliminar este problema ya que transfieren la contaminación de una fase a otra o generan un efluente más concentrado.

Debido a su capacidad para degradar contaminantes, los PAOs son una opción atractiva para desarrollar este tipo de tratamientos, se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Generan especies transitorias de gran poder oxidativo, principalmente y comúnmente el radical hidroxilo (-OH). Este radical puede ser

generado por medio fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para oxidar materia orgánica. Tiene los siguientes objetivos:

- Mineralización de los contaminantes, especialmente los compuestos orgánicos recalcitrantes, hasta transformarlos en dióxido de carbono, agua y aniones inorgánicos, evitando la formación de residuos o subproductos.
- Degradación de contaminantes orgánicos en compuestos más biodegradables y/o menos tóxicos
- Eliminación de color y/o olor
- Desinfección

La calidad del efluente final puede permitir su reciclaje y reutilización dentro de la propia industria, con lo que es posible solucionar el problema de vertidos de una forma económica y ambientalmente viable.

En la siguiente tabla se muestra un listado de los potenciales normales de oxidación-reducción en medio ácido de los principales oxidantes químicos.

**Tabla N°10: Potenciales redox de algunos agentes oxidantes en medio
ácido**

Especie	E° (V, 25°C)
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Oxígeno atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de hidrogeno	1,78
Radical perhidroxilo	1,7
Permanganato	1,68

Elaboración: Propia

4.2. Materiales y Reactivos

En la siguiente tabla se indican las características de los reactivos y materiales utilizados químicos que se han utilizado en los experimentos

Tabla N°11: Compuestos Químicos usados en el experimento

Compuesto	Formula	Estado	Uso
Carbón Activado	c	Solido	Purificador de agua
Ácido Sulfúrico	H ₂ SO ₄	Liquido	Acidificar
Sulfato de hierro	FeSO ₄	Solido	Generación de radicales hidroxilo

Ozono	O_3	Gaseoso	Oxidación
Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3$	Solido	Floculación
Peróxido de Hidrogeno	H_2O_2	Liquido	Generación de radicales hidroxilo
Diatomita	-	Solido	Medio de filtración
Hidróxido de Sodio	NaOH	Solido	Regulación de pH

Elaboración: Propia

4.3. Reactivo de Feton

El radical hidroxilo OH es generado mediante la adición de los siguientes productos en solución acuosa:

- Peróxido de hidrogeno, H_2O_2
- Sulfato Ferroso, $FeSO_4$

4.4. Sistema y Procedimiento Experimental

4.4.1. Sistema Experimental PAO

El sistema experimental empleado para llevar a cabo estos experimentos está formado por:

- Eldemeyer, funciona como reactor



Figura N°3: Eldemeyer con muestra de efluente

- Equipo Ozonificador, tuvo dos funciones, como agitador y generador de radicales oxidantes.



Figura N°4: Equipo Ozonificador

El ozonificador de modelo YL-A300N tiene las siguientes especificaciones:

Specifications

Model No: YL-A300N
Voltage: AC220-240V/110-120V
Power: 10W
Ozone Output: 200-300mg/hr
Pump Output: 3.5L/min
Power Switch: Yes (on/off)
Noise: ≤35db
Dimension: 124x88x36mm
GW/NW: 0.42/0.35 KG
Accessories: Air Stone, Silicone hose.

Figura N°5: Especificación Ozonificador

4.4.2. Prueba Inicial

Como una prueba de descarte se realizó un filtro con carbón activado, este compuesto es usado en muchas industrias para la decoloración de efluentes, así que se pasó la muestra de efluente por el filtro.



Figura N°6: Filtro Experimental de Carbón Activado

El resultado se comparó en la muestra inicial para ver la decoloración.

Tabla N°12: Comparación de muestra inicial y muestra filtrada

Muestra Inicial	Muestra Filtrada
	

Elaboración: Propia

Podemos notar que si bien hubo una pequeña decoloración del efluente, no es el resultado que se espera obtener.

4.4.3. Procedimiento Experimental PAO

El procedimiento experimental tiene las siguientes etapas:

1. **Filtración:** Esta etapa tiene como finalidad la eliminación las partículas sólidas y sólidos en suspensión y así evitar las interferencias en la transmisión de la radiación.

La empresa donde se tomaron las muestras aplica el procedimiento de floculación, lo que permitió que la muestra ya haya pasado por esta etapa.

2. **Acidificación:** Se empleó ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado para ajustar el Ph inicial a un rango de entre 2 y 3.

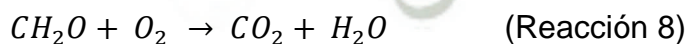
3. **Reacción de Oxidación:** Se dosificaron las cantidades necesarias de reactivos al efluente, los ensayos tuvieron una duración de 3 horas. Se colocaron 200 ml en el Eldemeyer, después de la etapa de acidificación se le agrego 1 ml de peróxido de hidrogeno por cada 100 ml de efluente, el siguiente paso fue agregar sal de hierro y por último se utilizó el ozonificador para cumplir funciones de agitación y

oxidación. Se utilizó radiación solar para suplir la demanda de rayos UV.



Figura N°7: Procedimiento Experimental PAO

Después de una hora ya se tenía una decoloración del efluente, como podemos ver en la imagen el burbujeo indica la oxidación de la materia orgánica que es liberada como CO_2 a la atmosfera (Reacción 8).





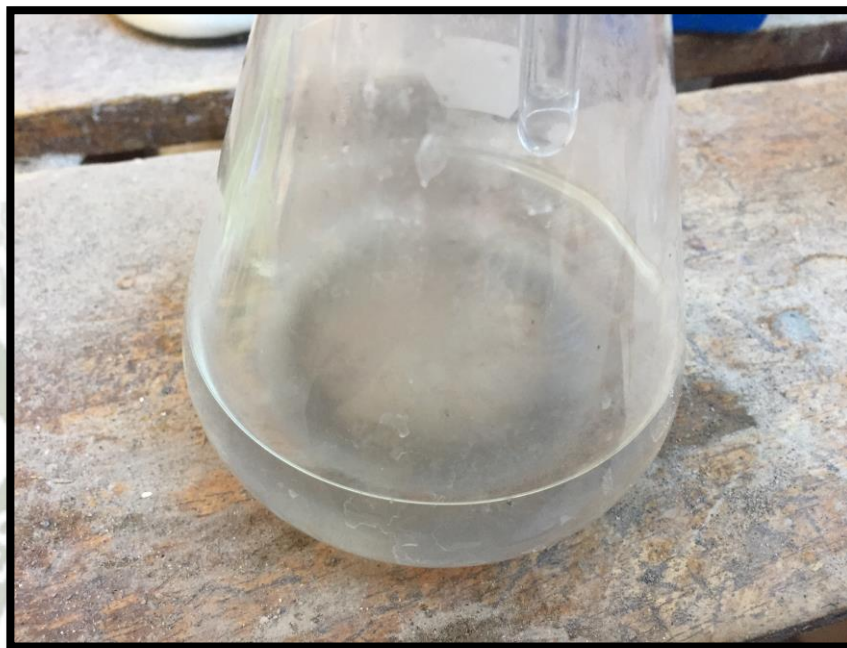
**Figura N°8: Procedimiento Experimental 1 hora de
exposición**

Después de 3 horas, el efluente ya estaba decolorado y presentaba un color anaranjado característico del sulfato de hierro que se utilizó.



**Figura N°9: Procedimiento Experimental 3 horas de
exposición**

- 4. Neutralización y Decantación:** Finalizando el tratamiento, se ajustó el Ph del efluente tratado en un valor cercano a 7 utilizando hidróxido de sodio (NaOH). De esta manera se provocó la precipitación del catalizador metálico introducido en el proceso. La siguiente operación fue flocular el efluente con ayuda de diatomita dejando como resultado una muestra de efluente totalmente sin coloración, como podemos ver en la imagen.



**Figura N°10: Muestra de efluente después de floculación
con diatomita**

Finalmente se deja decantar para obtener un efluente que pueda ser evaluado para poder ser reutilizado en el proceso.

En la siguiente figura se muestra un esquema del procedimiento experimental:

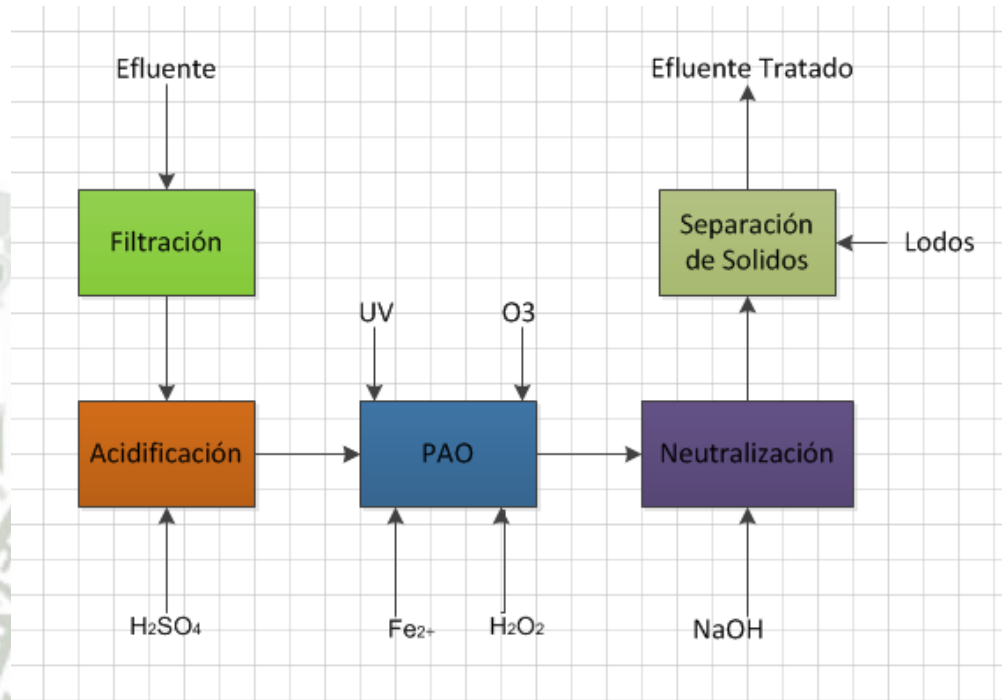


Figura N°11: Esquema del procedimiento Experimental

Después de las pruebas realizadas podemos determinar que el Proceso Avanzado de Oxidación Foto-Fenton es muy eficiente para la decoloración de los efluentes textiles y así evitar consecuencias negativas en el ambiente.

Para desarrollar el proceso de Fenton a nivel industrial se tiene que tener en consideración el equipamiento necesario para que pueda tener lugar la reacción (Figura 12).

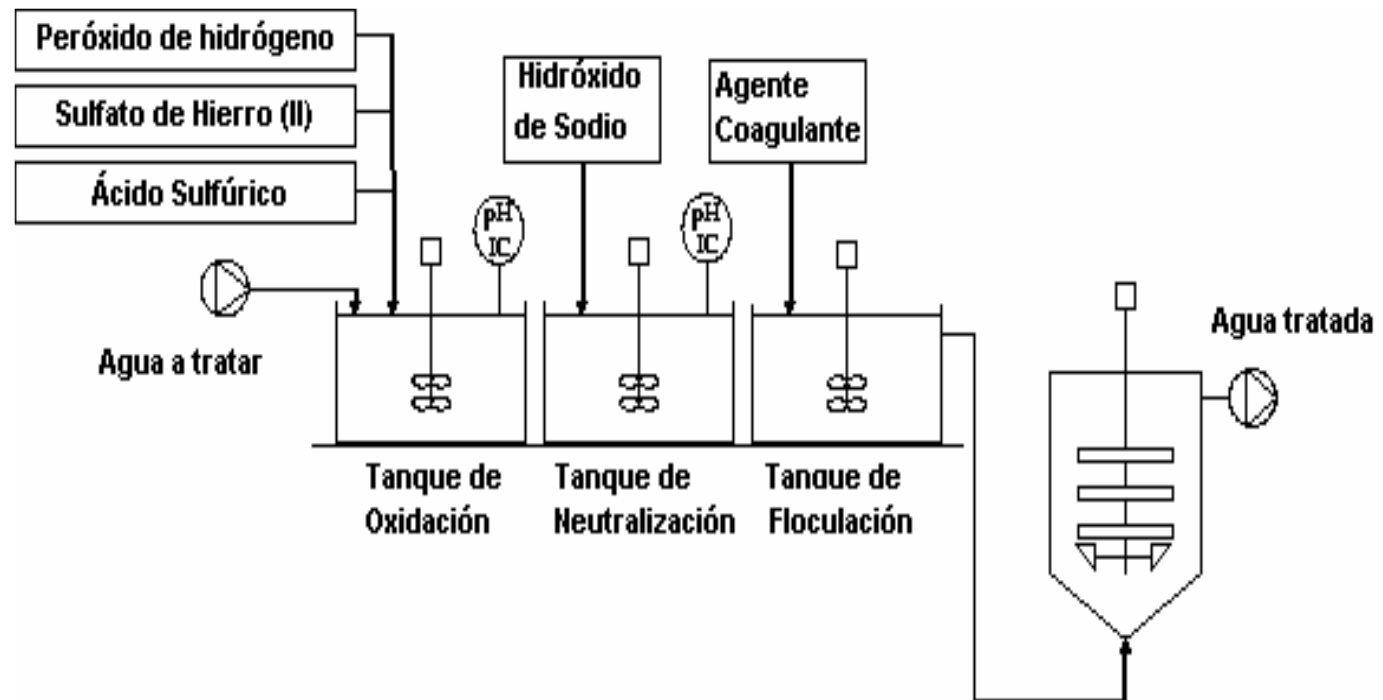
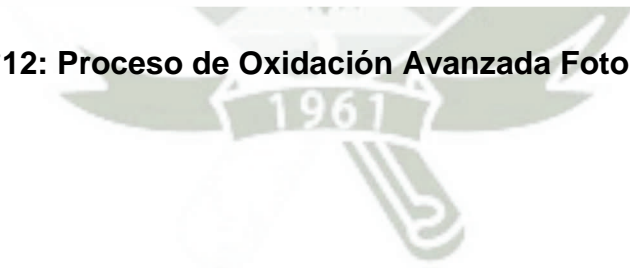


Figura N°12: Proceso de Oxidación Avanzada Foto-Fenton, José Blanco Jurado



Se parte de un reactor principal, es ahí donde tiene lugar el proceso Fenton en modo discontinuo (modo Batch). El reactor Batch consiste en un deposito no presurizado, el cual mantiene las condiciones atmosféricas, y que dispone de una serie de bombas externas para poder adicionar el agente para el ajuste de Ph (ya sea acido o base), es aquí donde se añadirá el sulfato de hierro (chatarra) y el peróxido de hidrogeno (35-50%) en disolución.

Es recomendable que el reactor este provisto de una capa interna que lo proteja, ya que la reacción de Feton es muy agresiva y puede provocar la corrosión del mismo. También debe estar provisto de una camisa exterior, por si es necesario aumentar o reducir la temperatura del reactor.

La adición de los reactivos se lleva a cabo de la siguiente manera: el agua residual seguida del ácido o la base para ajustar el Ph, el cual debe ser añadido muy poco para no alterar la temperatura interna. A continuación se añade el reactivo Fenton, cantidad optima necesaria para el proceso. Una vez transcurrido el tiempo de reacción, y habiendo alcanzado el nivel de degradación oportuno, se pasa el agua residual a un tanque de neutralización para adicionar una base y, de esta manera precipitar el hidróxido de hierro. Este se hace coagular en un tanque de floculación mediante un agente

coagulante (Diatomita). Una vez separadas estas dos fases ya se obtendrá un efluente tratado.

4.5. Parámetros que influyen en el proceso

La composición del agua residual, así como las condiciones de operación en las que el proceso se lleva a cabo, afectan a la eficacia y velocidad del proceso de oxidación.

Los principales parámetros que influyen en el proceso son:

pH

El sistema Fenton depende del pH del medio de reacción. La velocidad de las reacciones tiende a ser máxima en un pH cercano a 2,8. El valor óptimo se encuentra entre 2,5 y 2,8. A pH altos la velocidad disminuye debido a la precipitación de hierro en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

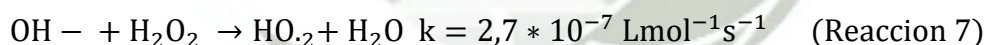
A Ph excesivamente bajos ($\text{pH} < 2,0$) y a partir del Fe (II) se produce la formación de $\text{Fe}(\text{OOH})^{2+}$ que reacciona muy lentamente con el H_2O_2 obstaculizando la generación de $-\text{OH}$, además, disminuye el coeficiente de absorción de los complejos de hierro.

El Fe (III) aparece como $\text{Fe}^{3+}(\text{H}_2\text{O})_6$ y es mucho menos efectivo en la absorción de luz y en la producción de $-\text{OH}$.

Este grupo de reacciones requiere, por tanto, un control riguroso del Ph.

Relación Fe (II) / H₂O₂

La dosis de H₂O₂ influye fundamentalmente sobre la eficacia del proceso mientras que la concentración de hierro afecta a la cinética. Tanto la eficacia como la velocidad de reacción tienden a aumentar con la concentración de reactivos. Sin embargo, un exceso de hierro da lugar a una disminución de eficacia debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como es el caso de la formación de Fe(OH)₃ que puede precipitar. Por otro lado un exceso de peróxido daría lugar a la degradación del mismo por los radicales hidroxilos la cual es una reacción no deseada (Reacción 7).



La relación estequiometria Fe (II) / H₂O₂ ha sido estudiada por varios autores, debe tenerse en cuenta las características del efluente a tratar. Dependerá del mismo para encontrar la relación adecuada entre Fe(II) y agente oxidante para poder

tener la condición mas favorable de operación desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental.

Temperatura

La reacción Fenton es endotérmica. La velocidad de oxidación aumenta con el incremento de temperatura. A presión atmosférica, el rango recomendable de operación es entre 25 y 45 °C, ya que si se sobrepasa los 50 °C, ocurre una descomposición acelerada del peróxido de hidrogeno en oxígeno y agua y la precipitación del hierro en forma de hidróxido debido a que su constante de producto de solubilidad (kps) disminuye.

Este aspecto es muy importante ya que las industrias textiles tienen una temperatura elevada en su proceso de producción, por lo que no sería necesario aplicar un aporte energético extra.

Teniendo en cuenta estos parámetros que influyen directamente en la velocidad de oxidación del proceso y tomando como guía la investigación de José Blanco Jurado se puede determinar que el tiempo de oxidación es de 150 a 300 minutos.

4.6. Ventajas e inconvenientes de los procesos Fenton y Foto-Fenton.

Los procesos Fenton y Foto-Fenton son considerados muy prometedores para la degradación de aguas residuales altamente contaminadas. En la siguiente tabla (Tabla 3) están las principales ventajas e inconvenientes del proceso Fenton y Foto-Fenton:

Tabla N°13: Ventajas e inconvenientes del PAO Foto-Fenton

Ventajas	Inconvenientes
El Fe (II) es muy abundante en la tierra, no es tóxico y es muy seguro.	Cuando el proceso finaliza, se necesita una etapa de neutralización para separar el hierro, generando un lodo que se ha de gestionar adecuadamente.
El peróxido de hidrógeno es fácil de manejar y ambientalmente benigno.	El peróxido de hidrógeno es un compuesto bastante más caro que el Fe (II) y es el principal acusante del costo final del tratamiento.
No se forman compuestos clorados nocivos como en otras técnicas oxidativas.	El proceso Fenton no es capaz de lograr una completa mineralización de todos los contaminantes

	<p>orgánicos, pero si un incremento de la biodegradabilidad. Algunos de los compuestos identificados como resistentes a la reacción Fenton son: ácidos orgánicos de cadena corta (acético, oxálico, fórmico, maleico, fumario), algunos aldehídos, cloroformo y acetona.</p>
<p>No existen limitaciones de transferencia de masa por tratarse de un sistema homogéneo.</p>	<p>El proceso Foto-Fenton, cuando se emplean lámparas UV como fuentes de radiación, implica un aumento en los costos.</p>
<p>El diseño de reactores para la aplicación tecnológica es bastante sencillo.</p>	<p>El proceso requiere un estricto control del Ph.</p>
<p>El proceso Foto-Fenton puede realizarse bajo radiación solar, una fuente renovable y barata de energía.</p>	<p>La radiación solar es distinta según la zona en la que este por lo que el proceso puede verse limitado en el tiempo del tratamiento para obtener un valor optimo y aceptable de degradación.</p>

Elaboración: Propia

4.7. Características del Efluente final tratado

Después de realizar el proceso de oxidación avanzada, las muestras tratadas se analizaron con ayuda de la empresa SEQUITECSA dando por resultado los siguientes valores:

Muestra N°1

Tabla N°14: Resultados y Reducción Muestra N°1

Parámetro	Unidad	Entrada Proceso	Neutralización	
			Valor	Reducción
Ph	Unid, Ph	7	7	-
DQO total	mg/l	1500	300	80%
DBO	mg/l	650	250	62%
SST	mg/l	500	350	30%
Aceites y grasas	mg/l	100	100	0%
Índice de Color	(cm ⁻¹)	1.485	0.095	94%

Elaboración: Propia

Muestra N°2

Tabla N°15: Resultados y Reducción Muestra N°2

Parámetro	Unidad	Entrada Proceso	Neutralización	
			Valor	Reducción
Ph	Unid, Ph	6.5	7	-
DQO total	mg/l	1475	280	81%
DBO	mg/l	650	250	62%
SST	mg/l	500	350	30%
Aceites y grasas	mg/l	100	100	0%
Índice de Color	(cm ⁻¹)	1.52	0.098	94%

Elaboración: Propia

Muestra N°3

Tabla N°16: Resultados Muestra N°3

Parámetro	Unidad	Entrada Proceso	Neutralización	
			Valor	Reducción
Ph	Unid, Ph	7	7	-
DQO total	mg/l	1525	320	79%
DBO	mg/l	650	235	64%
SST	mg/l	475	325	32%
Aceites y grasas	mg/l	100	100	0%
Índice de Color	(cm ⁻¹)	1.45	0.092	94%

Elaboración: Propia

Muestra N°4

Tabla N°17: Resultados Muestra N°4

Parámetro	Unidad	Entrada Proceso	Neutralización	
			Valor	Reducción
Ph	Unid, Ph	7	7	-
DQO total	mg/l	1500	300	80%
DBO	mg/l	625	255	59%
SST	mg/l	500	345	31%
Aceites y grasas	mg/l	100	100	0%
Índice de Color	(cm ⁻¹)	1.48	0.094	94%

Elaboración: Propia

En el siguiente cuadro comparativo podemos ver el promedio de la reducción después de la aplicación del proceso avanzado de oxidación Foto-Fenton.

4.8. Análisis y Evaluación de la Propuesta

Tabla N°18: Reducción promedio de las muestras de Efluentes

Parámetro	Unidad	Reducción				Promedio
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
Ph	Unid, Ph	-	-	-	-	-
DQO total	mg/l	80%	81%	79%	80%	80%
DBO	mg/l	62%	62%	64%	59%	62%
SST	mg/l	30%	30%	32%	31%	31%
Aceites y grasas	mg/l	0%	0%	0%	0%	0%
Índice de Color	(cm ⁻¹)	94%	94%	94%	94%	94%

Elaboración: Propia

En cuanto a la eliminación del color, se observa una importante reducción del 94% comparado con los valores iniciales, de igual forma la reducción del DQO total es de 80%.

Tabla N°19: Comparación de los VMA con los valores promedio neutralizados

Parámetro	Unidad	Expresión	Valores Máximos Admitidos	Valores Promedio Neutralizados
Ph	Unid, Ph	Ph	6-9	7
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO total	1000	300
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	DBO	500	250
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500	350
Aceites y grasas	mg/l	A y G	1000	100

Elaboración: Propia

En el cuadro anterior podemos ver que los valores ya neutralizados están dentro de los valores máximos admitidos por SEDAPAR.

Estos resultados, tan prometedores, demuestran la aplicabilidad del proceso avanzado de oxidación Foto-Fenton como post-tratamiento.



Capítulo V

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL Y CALCULO DE COSTOS DE LA APLICACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACION AVANZADA

Para determinar el beneficio financiero que representa a la empresa la implementación del procedimiento avanzado de oxidación Foto-Fenton, se realizó un análisis con el fin de establecer el costo que tiene para una compañía tratar un metro cubico al año usando este procedimiento.

Para la evaluación del procedimiento avanzado de oxidación, se propone una propuesta preliminar de un diseño básico para la implementación del proceso Foto-Fenton a nivel industrial, por tal razón, tanto la propuesta como el análisis de costos, se realizaron teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

5.1. Costo anual equivalente de agua tratada por medio del proceso Foto-Fenton.

Se evalúa el costo anual equivalente teniendo en cuenta, que se trata de un instrumento de toma de decisiones en la valoración de inversiones. Primero para evaluar dicho índice financiero se

establecieron los egresos, los costos de administración y los costos de producción.

5.1.1. Inversión

La inversión corresponde a S/. 26,230, esto se debe al valor de dos tanques reactor, el cual tendrían una capacidad de 10000 lt cada uno, el generador de ozono, una bomba de agua y un compresor, como muestra la siguiente tabla.

Tabla N°20: Inversión inicial de equipos

Equipo	Precio	Cantidad	Inversión
Cisterna Rotoplax 10000 lt	S/. 7,338.00	2	S/. 14,676.00
Generador de ozono de 10gl/min	S/. 6,580.00	1	S/. 6,580.00
Compresora de aire 3hp monofásica de 80 gl	S/. 3,000.00	1	S/. 3,000.00
Bomba de agua 1hp Salmson monofásica Acero inoxidable 316l	S/. 1,974.00	1	S/. 1,974.00
			S/. 26,230.00

Elaboración: Propia

5.1.2. Costos Administrativos

Los costos administrativos se refiere al salario del ingeniero del planta en el proceso de tratamiento de agua. Dicho valor es de S/. 2,500 al mes por lo tanto S/. 30,000 al año.

5.1.3. Costos de Producción

Son los costos que están directamente relacionados con el proceso, los dividimos en costos directos e indirectos.

Dentro de los costos directos se tienen:

- **Costo de materia prima (productos químicos):** Los costos de productos químicos involucran el catalizador (Fe), acidificador, agente oxidante, agente neutralizador y agente floculante.

Tabla N°21: Costo Anual de los Compuestos Químicos

Compuesto	Cantidad/muestra	Cantidad/Industrial	Precio	Costo Diario	Costo Mensual	Costo Anual
Ácido Sulfúrico (lt)	0.00005	5	S/. 2.00	S/. 10.00	S/. 250.00	S/. 3,000.00
Sulfato de hierro (kg)	0.0005	50	S/. 0.50	S/. 25.00	S/. 625.00	S/. 7,500.00
Sulfato de aluminio (kg)	0.00005	5	S/. 1.65	S/. 8.23	S/. 205.63	S/. 2,467.50
Peróxido de Hidrogeno (lt)	0.0005	50	S/. 3.95	S/. 197.40	S/. 4,935.00	S/. 59,220.00
Hidróxido de Sodio (kg)	0.0005	50	S/. 1.65	S/. 82.25	S/. 2,056.25	S/. 24,675.00
				S/. 322.88	S/. 8,071.88	S/. 96,862.50

Elaboración: Propia

Los valores colocados en la tabla anterior fueron calculados en base a 200 ml, la cantidad industrial ha sido calculada en base a 20000 lt, lo que nos da un costo anual de S/. 96,862.50.

- **Costo mano de obra:** Son los costos relacionados al sueldo del operario encargado de la operación y vigilancia del buen

funcionamiento del proceso de tratamiento, en este caso se necesita un operario por turno de trabajo. El salario sería el mínimo mensual legal vigente S/. 850,000.

Tabla N°22: Costo Anual de mano de obra

Salario / Operario		Cantidad op.	Costo Mensual	Costo Anual
S/.	850.00	2	S/. 1,700.00	S/. 20,400.00

Elaboración: Propia

Dentro de los costos indirectos se tienen los siguientes:

- **Gastos de mantenimiento:** Tomando en consideración las actividades necesarias para un mantenimiento adecuado, para el caso evaluado, se requiere mantenimiento del ozonificador, lo cual implica una inspección periódica, para verificar el buen funcionamiento y limpieza del equipo, también se debe hacer un lavado periódico de los reactores para evitar la sedimentación o la obstrucción de las salidas.
- Teniendo en cuenta esto, se estableció el costo hora-hombre, considerando el sueldo vigente del operario y el tiempo dedicado necesario para la actividad. En la siguiente tabla se muestra el costo anual.

Tabla N°23: Costo Anual de mantenimiento

Costo Hora-Hombre	Cantidad de Mant. Mensuales	Tiempo/ Mant.(hr)	Tiempo mens/mant.(hr)	Costo mens/Mant.	Costo Anual/Mant.
S/. 3.54	4	8.00	32.00	S/. 113.33	S/. 1,360.00

Elaboración: Propia

- **Costos energéticos:** Los costos energéticos están determinados por la energía eléctrica consumida por el generador de ozono, el cual esta dado por la potencia, a su vez, tiene dependencia de las horas que este encendido. Se debe aclarar que el equipo operara dos turnos cada uno de 3 horas diarias, tiempo de reacción de acuerdo a las pruebas hechas.

Así mismo se tuvo en cuenta en los costos energéticos, el valor de potencia de la bomba y el compresor propuestas en el proceso. A partir de esto se realizó el cálculo del consumo por metro cubico de agua tratada, esto se explica en la siguiente tabla.

Tabla N°24: Costo Anual de energía

Equipo	Consumo (Kwh)	Energía consumida (kwh/ m3 H2O)	Energía consumida / Día	Energía consumida / Mes	Energía consumida / Año	Costo Anual total
Generador de ozono	0.12	0.004536	0.09072	2.268	27.216	12.51936
Compresora de aire 3hp	2.2371	0.08456238	1.6912476	42.28119	507.37428	233.3921688
Bomba de agua 1hp	0.7457	0.02818746	0.5637492	14.09373	169.12476	77.7973896
	3.1028	0.11728584	2.3457168	58.64292	703.71504	323.7089184

Elaboración: Propia

El costo Kw/h es de S/. 0.46, lo que nos da un costo anual total de S/. 323.7 para una planta que genera 20000 lt diarios.

Teniendo en cuenta los costos y consumos expuestos anteriormente, en la siguiente tabla, se presentan el costo que

tiene tratar un metro cubico de efluente textil, teniendo en cuenta los costos directos.

Tabla N°25: Costo de Tratamiento por metro cubico

Costos tratamiento / m3 agua		
Energía	S/.	0.05
Costos Materia Prima	S/.	16.14
Cotos Mano de obra directa	S/.	3.40
Costo Total	S/.	19.60

Elaboración: Propia

Finalmente se recopilan cada uno de los ítems descritos anteriormente relacionados a cada uno de los costos, determinando el costo total anual del proceso de oxidación avanzada Foto-Fenton.

Tabla N°26: Costo Anual del PAO Foto-Fenton

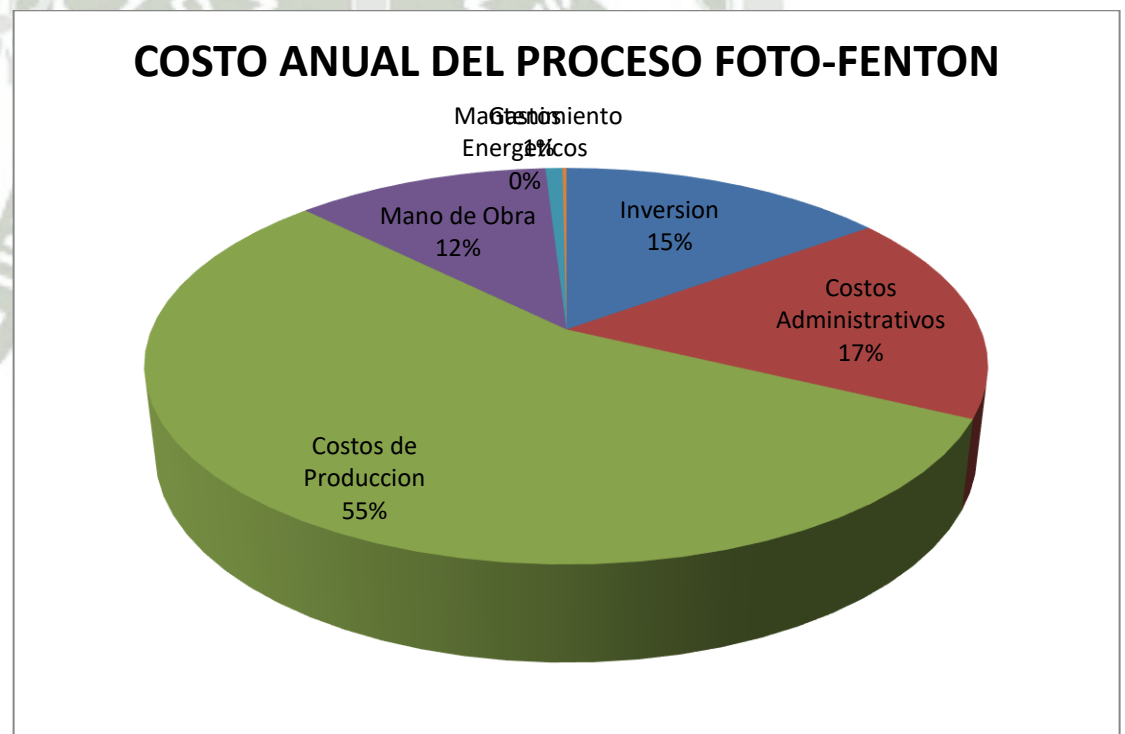
Costo Anual del Proceso Foto-Fenton		
Inversión	S/.	26,230.00
Costos Administrativos	S/.	30,000.00
Costos de Producción	S/.	96,862.50
Mano de Obra	S/.	20,400.00
Mantenimiento	S/.	1,360.00
Gastos Energéticos	S/.	323.70
	S/.	175,176.20

Elaboración: Propia

Podríamos llegar a concluir que los costos de producción son el 55 % del costo total, esto se debe al alto precio de algunos reactivos como el peróxido de hidrógeno y el ácido sulfúrico, reactivos importantes en el proceso.

Se podrían reducir los costos administrativos, capacitando al personal operativo para que puedan dar respuesta a cualquier problema que pueda ocurrir.

Grafico N°1: Costo Anual Proceso Foto-Fenton



Elaboración: Propia

5.2. Impacto Ambiental

Para la medición del impacto ambiental, se consideró los siguientes parámetros con su relevancia.

Tabla N°27: Parámetros a medir

Parámetro a Medir	Relevancia
Reversibilidad	0.25
Acumulación	0.05
Extensión Espacial	0.15
Intensidad	0.25
Duración	0.25
Retardo	0.05

Elaboración: Propia

1. Reversibilidad: Es el tiempo que le tomaría al medio ambiente revertir el posible impacto. Se mide en temporada que tiene una duración de 6 meses. Se pondero con 0.25 ya que el impacto de los colorantes en el medio ambiente es importante sobre todo porque no son biodegradables.
2. Acumulación: Este parámetro nos indica las consecuencias directas de mantener repetidamente esta actividad, se le pondero con 0.05.
3. Extensión Espacial: Se refiere al área total que se vería afectada, se le pondera con 0.15
4. Intensidad: Se le pondero con 0.25 por que el intensidad del cambio en el ambiente es alto.

5. Duración: Se le pondero con 0.25 por la duración de los contaminantes en el ambiente.
6. Retardo: Se le pondero con 0.05 porque el impacto negativo no es de forma inmediata.

En el siguiente tabla se le pondrá un valor ponderado al nivel de impacto, es importante aclarar que ese valor será para el efluente neutralizado. Así obtendremos un valor del nivel de impacto total.



Tabla N°28: Cuadro de Impacto ambiental

Parámetro a Medir	Relevancia	Ponderador del Nivel de Impacto	Total	Justificación del valor adoptado en el Ponderador del Nivel de Impacto
<i>Reversibilidad</i>	0.25	2	0.5	Se colocó un valor de 2 porque el análisis no fue completo y existe la probabilidad de existencia de metales pesados que puedan causar un daño en el ambiente.
<i>Acumulación</i>	0.05	0	0	Al degradar los colorantes no podrá existir acumulación de estos.
<i>Extensión Espacial</i>	0.15	1	0.15	Se le colocó el valor de 1 por la posible existencia de algún otro contaminante.
<i>Intensidad</i>	0.25	1	0.25	Por la intensidad en el impacto que pueda causar algún contaminante
<i>Duración</i>	0.25	1	0.5	La duración de este impacto será menor
<i>Retardo</i>	0.05	0	0	El impacto en el ambiente no será inmediato.
Total del Nivel de Impacto			1.4	

Elaboración: Propia

El resultado total del impacto tiene un valor de 1.4, este resultado debe ser comparado en una escala estándar para determinar las acciones a tomar.

Tabla N°29: Escala de Impacto Ambiental

Nivel de impacto	Escala
Menor a mínimo o transitorio	1,0 - 1,7
Mínimo o transitorio	1,8 - 2,3
Mayor a mínimo o transitorio	2,4 - 3,0

Elaboración: Propia

El resultado está en la primera escala de un menor a mínimo o transitorio impacto, este resultado es muy satisfactorio para demostrar que los procesos avanzados de oxidación son una alternativa eficiente para la degradación de los colorantes y contaminantes presentes en los efluentes textiles.

Conclusiones

PRIMERA: El proceso avanzado de oxidación Foto-Fenton es una alternativa eficaz y presentan un potencial elevado para la degradación de los colorantes que se encuentran en los efluentes textiles, en esta investigación se logró degradar en un 94% el índice de color.

SEGUNDA: SEDAPAR es la institución encargada de la regularización y control del vertido de los efluentes de las industrias textiles mediante los valores máximos admitidos, después de realizar la caracterización de las muestras tomadas de diferentes empresas textiles se obtuvo parámetros elevados de DQO, DBO, SST e índice de color, resultados que se redujeron para que puedan estar dentro de los valores máximos admitidos.

TERCERA: Aplicando procesos avanzados de oxidación se oxidan la materia orgánica, los sólidos en suspensión y algunos contaminantes químicos presentes en los efluentes textiles, reduciendo de esta manera el impacto ambiental que puedan tener.

CUARTA: El proceso Foto-Fenton también logro una reducción importante de un 80% en el DQO total, 62% en el DBO y un 31% en el SST, esto se debe al alto poder oxidante del proceso.

QUINTA: En el estudio de costos de operación fue de S/19.60 por metro cubico, los costos de producción son el 55% de los costos totales y se debe principalmente a los precios de los compuestos químicos usado en el proceso avanzado de oxidación. Así mismo se logra reducir el rango de la escala de impacto ambiental a un valor de 1.4, este valor se encuentra en un nivel de impacto menor o transitorio.



Recomendaciones:

PRIMERA: Se recomienda ampliar el estudio, para determinar a escala piloto en modo continuo, para determinar las cantidades óptimas de los reactivos a nivel industrial.

SEGUNDA: Se sugiere promover una cultura de protección ambiental dentro de las empresas textiles para que puedan implantar un proceso de degradación de los colorantes presentes en sus efluentes.

TERCERA: Es recomendable estar pendiente de mejoras que se puedan realizar en el proceso de oxidación avanzada y que puedan reducir el costo que este tiene.

CUARTA: Se recomienda dar un seguimiento constante al proceso para controlar su eficiencia, también se deben tomar muestras del efluente para ser analizadas y controlar la degradación.

QUINTA: Por último se sugiere estar al tanto de las nuevas leyes o modificaciones que SEDAPAR pueda dar a los valores máximos permitidos, esto puede influir en las cantidades de compuestos químicos usados en el proceso de oxidación avanzada. Así mismo es recomendable estar al tanto de nuevas alternativas con menor impacto ambiental.

Bibliografía

1.- Textos

- Blanco, J. (julio 2009) *“Degradación de un efluente textil real mediante procesos de Fenton y Foto-Fenton”* Trabajo de grado de maestría publicado. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Flores, G (2004) *“Evaluación de la contaminación generada por el vertido de aguas residuales provenientes de la industria textil en Zinapecuaro, Michoacan”*. México
- Alatorre, F. (2007) *“Diseño de reactores empacados para la remoción de color de aguas residuales industriales”*, México.
- Morillo, S. (2012) *“Propuesta de producción más limpia (p+l) en el proceso de tinturado, en la industria “textiles maría belén” ubicada en el distrito metropolitano de quito”*.Quito.
- Lenin, E. (Noviembre 2012) *“Desarrollo de los aspectos metodológicos para la implantación de un sistema integrado de gestión en la industria textil y confecciones”* Trabajo de grado de título publicado. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sánchez, Y. (2003) *“Optimización del cálculo de recursos productivos para cotización en una empresa de confecciones”* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sosa, R. (2013) *“Propuesta preliminar para la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes en la bodega de Maipú, Mendoza”* Trabajo de grado de título publicado. Universidad Nacional de Cuyo.

Anexos

Glosario:

- PAO: Proceso Avanzado de Oxidación
- DBO: Demanda Biológica de Oxígeno
- BQO: Demanda Química de Oxígeno
- VMA: Valores Máximos Admitidos
- S.S.T. :Solidos Suspendidos Totales

