

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD  
DE INGENIERIA  
INGENIERÍA QUIMICA



PROYECTO DE GRADO

**“ TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TINTORERIA POR  
PROCESO DE OXIDACION AVANZADA EN LA EMPRESA TEXTIL  
ALTIFIBERS S.A.”**

**PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO QUIMICO**

POSTULANTE:

UNIV. DIAMELA WARA GARCIA LLUITO

TUTOR:

ING. JORGE VASQUEZ PEÑARANDA

LA PAZ - BOLIVIA



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## DEDICATORIA

*El presente proyecto de grado está dedicada a:*

*A mis Madres Estela Lluito Quenta, Rosaura Lluito Quenta, Paula Lluito Quenta quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.*

*A mis hermanos Carmen Julia Garcia Lluito, Manuel Alejandro Lluito Lluito y Luvia Cristal del Castillo Lluito por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.*

*A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Empresa Textil Altifibers S.A., por confiar en mí, abrimme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento.

De igual manera mis agradecimientos a mi Tutor Ing. Jorge Vazques Peñaranda a mis tribunales Ing. Boris Parraga, en especial al PhD. Santiago Morales quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos, su paciencia, dedicación y apoyo incondicional hicieron que pueda culminar la elaboración de este proyecto.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a la Ing. Estela Lluito Quenta y la Ing. Carmen Julia García Lluito, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## RESUMEN

La industria textil en el área de teñido genera efluentes con remanentes de colorantes orgánicos tales como los colorantes ácidos que generan un alto contenido de DQO, con concentraciones que superan 785 mg/l y que impactan las aguas superficiales en gran medida ya que estos colorantes sintéticos son poco biodegradables. La investigación tiene como objetivo, evaluar la aplicación del proceso “Fenton” para reducir la concentración de DQO y turbidez en los efluentes de la industria textil Altifibers S.A. S.A. Se ha desarrollado la reacción de oxidación avanzada para la degradación de los compuestos contaminantes, utilizados en grandes cantidades, a diario en estas industrias que generan 794 m<sup>3</sup> de efluentes contaminados con colorantes, siendo vertidas de manera directa sin ningún previo tratamiento, haciendo que estos efluentes formen parte de un gran problema ambiental latente. El proceso “Fenton” es una gran alternativa para el tratamiento de efluentes de procesos de teñido, donde el colorante es el contaminante que más predomina. Es así que se determinó la eficiencia del proceso “Fenton” en la degradación de colorantes y carga orgánica en efluentes de industrias textiles, para ello se buscó la dosis óptima de concentración tanto del oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como el del catalizador (Fe<sup>+2</sup>), este es un proceso que se desarrolla en medios ácidos con un pH adecuado que oscila entre 2,5 y 3. Se logró la remoción de parámetros importantes como turbidez, demanda química de oxígeno, por encima de 85%. Con una dosis óptima para cada tipo de muestra que en el estudio del proceso de la industria textil Altifibers S.A. se determinó que existen tipos de muestra claras, medias e intensas (oscuros), a un pH ácido 2,6, y 6 horas de reposo del sistema y a una temperatura ambiente. Los resultados indicaron una reducción del contenido inicial de >36 a 0,79 NTU en turbidez así mismo un DQO inicial de 2368 mg/l hasta 301mg/l.

## ABSTRACT

The textile industry in the dyeing area generates effluents with remnants of organic colorants such as acids that generate a high content of COD, with concentrations that exceed 785 mg / l and that impact surface waters to a great extent since these synthetic colorants are little biodegradable. The objective of the investigation was to evaluate the application of the “Fenton” process to reduce the concentration of COD and turbidity in the effluents of the Altifibers S.A. textile industry. The advanced oxidation reaction has been developed for the degradation of polluting compounds, used in large quantities, on a daily basis in these industries that generate 794n m<sup>3</sup> of effluents contaminated with dyes, being discharged directly without any previous treatment, making these effluents are part of a great latent environmental problem. The “Fenton” process is a great alternative for the treatment of effluents from dyeing processes, where the colorant is the most predominant contaminant. Thus, the efficiency of the “Fenton” process was determined in the degradation of dyes and organic load in effluents from textile industries, for this the optimal dose of concentration of both the oxidant (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and the catalyst (Fe<sup>+2</sup>) was sought, this It is a process that takes place in acidic media with a suitable pH ranging between 2.5 and 3. The removal of important parameters such as turbidity, chemical oxygen demand, above 85% was achieved. With an optimal dose for each type of sample, in the study of the Altifibers S.A. textile industry process it was determined that there are clear, medium and intense types of sample, at an acidic pH 2.6, and 6 hours of rest of the system already a room temperature. The results indicated a reduction of the initial content from > 36 to 0.79 NTU in turbidity as well as an initial COD of 2368 mg / l to 301mg / l. The “Fenton” process is a suitable method for removing high percentages of colorants, thus giving the possibility of reusing or recycling treated water.

## GLOSARIO

**Agente oxidante.-** Es aquel que alcanza un estado energético estable producto de que el oxidante se reduce y gana electrones. Asimismo, el agente oxidante provoca la oxidación del agente reductor generando la pérdida de electrones de la sustancia y, por tanto se oxida en el proceso.

**Cinética de reacción.-** La cinética química es el estudio de las velocidades de las reacciones químicas y de los mecanismos mediante los que tienen lugar. La cinética química introduce la variable tiempo en el estudio de las reacciones químicas

**Condición de solidez.-** Se denomina solidez a la resistencia que presenta un tejido teñido a cada uno de los agentes que pueden modificar su color original y/o provocar un manchado sobre un testigo blanco. En el primer caso hablamos de cambio de color, mientras que en el segundo caso hablamos de transferencia de color

**Lodos activados.-** Llamamos lodo activado a los microorganismos que degradan las sustancias orgánicas del agua residual durante la depuración biológica, por ejemplo en las depuradoras domésticas. El lodo activado se compone principalmente de bacterias y hongos.

**NTU.** - Es la abreviación de Nephelometric Turbidity Unit, y es la unidad en la que se mide la turbidez de un fluido o la presencia de partículas en suspensión en el agua, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez.

**PCBs.-** Los bifenilos policlorados (BPCs) son una mezcla de hasta 209 compuestos clorados individuales. No se conocen fuentes naturales de BPCs. Los BPCs son líquidos aceitosos o sólidos, incoloros a amarillo claro. Ciertos BPCs pueden existir como vapor en el aire.

**Potencial redox.-** El potencial Redox es una medida efectiva de medir la energía química de oxidación-reducción la cual se utiliza para conocer el saneamiento del agua potable

**Presurizado.-** Mantener la presión atmosférica normal en un recinto, independientemente de la presión exterior

**Recalcitrante.-** se aplica a aquellos compuestos cuya persistencia en el medioambiente es grande debido a su difícil biodegradación.

**Relacion de baño,-** La relación de baño depende de cada laboratorio y cada planta textil. La relación de baño es el Peso de la tela entre el Volumen de baño.

**Tensoactivo no ionico.-** Se llama tensioactivos no iónicos a los tensioactivos que no contienen grupos funcionales disociables (ionizables) y, por lo tanto, no se disocian en el agua en iones.

**Tintura por agotamiento.-** En los procesos de TINTURA POR AGOTAMIENTO, el colorante se encuentra disuelto en el seno de una solución (baño de tintura), y se fija en la materia textil como consecuencia de una transferencia del colorante del baño a la fibra, que se produce por la intervención de las fuerzas de afinidad entre colorante y materia textil a teñir.

**Tricromia.-** Teoría del color por la cual cualquier color puede ser reproducido únicamente combinando los tres colores primario

**Trihalometanos.-** Los trihalometanos (THM) son compuestos químicos volátiles que se generan durante el proceso de potabilización del agua por la reacción de la materia orgánica, aún no tratada, con el cloro utilizado para desinfectar. Muchos trihalometanos son considerados peligrosos para la salud y el medio ambiente e incluso carcinógenos

**Ultrafiltración.-** La Ultrafiltración (UF) es un proceso de separación por membrana, dentro de la tecnología de membranas para el tratamiento de agua, que permite la separación mecánica de sólidos suspendidos o disueltos mediante un tamiz, utilizando la presión hidrostática para forzar el agua a través de una membrana semipermeable.

## INDICE

1	CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	ANTECEDENTES .....	1
1.1.1	La empresa textil ALTIFIBERS S.A.....	2
1.1.2	Procesos de oxidacion avanzada (POAs) .....	5
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.3	JUSTIFICACIÓN .....	6
1.3.1	Justificación Académica .....	6
1.3.2	Justificación Económica .....	6
1.3.3	Justificación Ambiental .....	7
1.3.4	Justificación Social .....	7
1.4	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO .....	7
1.4.1	Alcances.....	7
1.4.2	Limitaciones .....	8
1.5	OBJETIVOS .....	8
1.5.1	Objetivo general .....	8
1.5.2	Objetivos específicos .....	8
1.6	METODOLOGÍA.....	8
1.6.1	Plan de Trabajo .....	9
2	CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	11
2.1	EL AGUA.....	11
2.2	AGUAS RESIDUALES .....	12
2.3	TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	12
2.3.1	Aguas residuales industriales.....	12
2.3.2	Las aguas residuales urbanas .....	13
2.4	TIPOS DE CONTAMINANTES .....	13
2.4.1	Contaminantes orgánicos.....	13
2.4.2	Contaminantes inorgánicos.....	14
2.5	CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES.....	14
2.5.1	Arenas .....	14
2.5.2	Grasas y aceites .....	14
2.5.3	Nitrógeno y fósforo .....	15

2.5.4	Contaminantes recalcitrantes en el agua.....	15
2.5.5	Contaminación del agua por materia orgánica refractaria.....	16
2.6	AGUAS RESIDUALES TEXTILES.....	16
2.7	TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL.....	17
2.7.1	Oxidación química para tratamiento de aguas residuales textiles.....	18
2.7.2	Tratamiento de aguas residuales tratamiento primario.....	18
2.7.3	Tratamientos secundarios.....	19
2.7.4	Tratamientos terciarios.....	19
2.7.5	Técnicas avanzadas de oxidación aplicados al tratamiento de aguas.....	19
2.8	REUTILIZACIÓN DEL AGUA.....	21
2.9	PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN (PAOs).....	22
2.9.1	PROCESO “FENTON”.....	24
2.9.2	MECANISMO DE REACCION “FENTON”.....	25
2.9.2.1	Proceso de “Fenton”.....	25
2.9.2.2	Mecanismo de reacción “Fenton” para colorante Azoicos.....	26
2.9.2.2.1	Colorantes Azoicos.....	26
2.9.2.2.2	Mecanismo de reacción para el colorante azoico Carmoizina.....	26
2.9.3	Proceso “Fenton” a nivel industrial.....	28
2.9.4	Parámetros que influyen en el proceso.....	29
2.9.4.1	pH.....	29
2.9.4.2	Relación Fe (II)/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	31
2.9.4.3	Temperatura.....	31
2.9.5	Ventajas e inconvenientes de los procesos “Fenton” y Foto-Fenton.....	32
3	CAPITULO III: ESTUDIO DE LA PLANTA TEXTIL ALTIFIBERS S.A.....	34
3.1	DEPENDENCIAS E INSTALACIONES.....	34
3.2	PROCESO PRODUCTIVO.....	35
3.2.1	Área de Toperia.....	35
3.2.1.1	Acopio o Compra.....	36
3.2.1.2	Selección y Clasificación de la fibra.....	36
3.2.1.3	Lavado.....	37
3.2.1.6	Peinado.....	38
3.2.2	Área de Hilandería.....	39
3.2.3	Área de Tintorería.....	41
3.3	PRODUCTOS.....	43

3.3.1	Tops .....	43
3.3.2	Hilos.....	44
3.4	PRINCIPALES CARATERISTICAS DEL ÁREA DE TINTORERIA .....	45
3.4.1	Características de la maquinaria .....	45
3.4.1.1	Autoclaves de tintura. ....	46
3.4.1.2	Maquinaria para tintura de hilado en madeja .....	46
3.4.2	CAPACIDADES DE LAS MAQUINAS DE TINTORERIA .....	46
3.4.3	PRODUCTOS QUÍMICOS QUE SE UTILIZAN EN EL PROCESO DE TEÑIDO	47
3.4.3.1	Jabon industrial Tissocyl TBL.....	47
3.4.3.2	Antiespumante. ....	47
3.4.3.3	Humectante. ....	47
3.4.3.4	Igualante. ....	47
3.4.3.5	Sal textil.....	48
3.4.3.6	Ácido fórmico.....	48
3.4.3.7	Persoftal ASI.....	48
3.4.3.8	Colorantes.....	48
4	CAPITULO IV: DIAGNÓSTICO .....	51
4.1	GENERACION DE EFLUENTES .....	51
4.2	DETERMINACION DE REQUISISTOS EN LA CALIDAD DE EFLUENTE....	52
4.2.1	Determinación de los parámetros de control en efluentes industriales .....	52
4.3	BALANCE MÁSIKO DEL AGUA .....	52
4.4	DISTRIBUCIÓN DEL AGUA.....	55
4.5	BALANCE GENERAL DE AGUAS RESIDUALES .....	55
4.6	DETERMINACION DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LOS EFLUENTES.....	57
4.7	CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	58
4.8	DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LOS ANALISIS PRELIMINARES	59
4.8.1	Turbidez.....	59
4.8.2	Potencial de hidrigeniones (pH) .....	60
4.8.3	Sólidos totales.....	60
4.8.4	Conductividad.....	61
4.8.5	Demanda biologica de oxigeno (DBO <sub>5</sub> ).....	61
4.8.6	Demanda química de oxigeno (DQO).....	62
4.8.7	Dureza total.....	63

4.9	IDENTIFICACION DE LOS PRODUCTOS CONTAMINANTES .....	63
4.10	PROCESO PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES .....	64
4.10.1	Filtración.....	64
4.10.2	Acidificación .....	65
4.10.3	Reacción de oxidación.....	65
4.10.4	Neutralización.....	65
4.10.5	Coagulación.....	66
4.10.6	Filtración.....	66
5.	CAPITULO V: PARTE EXPERIMENTAL TRATAMIENTO DE EFLUENTES .....	68
5.1	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	68
5.1.1	Variables operacionales.....	68
5.1.1.1	Variable independiente.....	68
5.1.1.2	Variable dependiente.....	68
5.1.2	Operación de variables .....	68
5.1.3	Diseño experimental de factor 2 <sup>3</sup> .....	69
5.2	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	72
5.1.2	Procedimiento experimental .....	72
5.1.2.1	Toma de muestra.....	72
5.1.2.3	Acidificación.....	74
5.1.2.4	Reacción de oxidación.....	75
5.1.2.5	Neutralización.....	75
5.1.2.6	Coagulación y decantación.....	76
5.1.3	Métodos de análisis fisicoquímicos.....	77
5.1.3.1	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	77
5.1.3.2	Determinación del pH y conductividad.....	78
5.1.3.3	Determinación de la turbidez.....	79
5.1.3.4	Determinación de Solidos Totales.....	80
6.	CAPITULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS DE LA INVESTIGACION.....	82
6.1	PRIMERA ETAPA EN LABORATORIO.....	82
6.1.1	Caracterización fisicoquímica .....	82
6.2	SEGUNDA ETAPA EN LABORATORIO .....	84
6.2.1	Selección de la dosis óptima.....	84
6.2.1.1	Efecto de la concentración inicial de hierro.....	85
6.2.1.1.1	Muestra clara .....	85
6.2.1.1.2	Muestra media .....	89

6.2.1.1.3	Muestra intensa.....	92
6.2.1.2	Efecto de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno .....	95
6.2.1.2.1	Muestra clara .....	96
6.2.1.2.2	Muestra media .....	99
6.2.1.2.3	Muestra intensa.....	102
6.2.1.3	Efecto de otras variables $Al(SO_4)_3$ .....	105
6.2.1.3.1	Muestra Clara .....	105
6.2.1.3.2	Muestra Media.....	107
6.2.1.3.3	Muestra Intensa.....	109
6.3	TERCERA ETAPA EN LABORATORIO .....	112
6.3.1	Pruebas para el modelo cinético .....	112
6.3.2	Sistema experimental.....	113
6.3.3	Modelo cinético basado en la DQO.....	114
6.3.3.1	Tipo de Muestra Clara. ....	115
6.3.3.2	Tipo de Muestra Media.....	119
6.3.3.3	Tipo de Muestra Intensa. ....	123
7.	CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	127
7.1	CONCLUSIONES.....	127
7.2	RECOMENDACIONES .....	128
8.	CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFIA.....	129
9.	CAPITULO IX: ANEXOS .....	131

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Técnicas de oxidación avanzada más utilizados. ....	20
<b>Tabla 2:</b> Potenciales redox de algunos agentes oxidantes en medio ácido.....	23
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de los PAOs.....	24
<b>Tabla 4:</b> Principales ventajas e inconvenientes de los procesos “Fenton” y Foto-Fenton .....	32
<b>Tabla 5:</b> Capacidad instalada de maquinaria de teñido .....	46
<b>Tabla 6:</b> Balance másico del agua empresa textil Altifibers S.A. ....	53
<b>Tabla 7:</b> Balance másico del efluente área de tintorería y frecuencia uso de máquinas .....	54
<b>Tabla 8:</b> Proceso de teñido claro detallado.....	56
<b>Tabla 9:</b> Frecuencia de utilidad de maquina.....	57
<b>Tabla 10:</b> Caudales de descarga .....	58
<b>Tabla 11:</b> Resultados preliminares del efluente Muestra clara.....	59
<b>Tabla 12:</b> Operacion de variables.....	68
<b>Tabla 13:</b> Definición de diseño factorial .....	69
<b>Tabla 14:</b> Análisis de diseño factorial .....	70
<b>Tabla 15:</b> Resultados caracterización fisicoquímica de cada tipo de muestra .....	84
<b>Tabla 16:</b> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra clara mediante pruebas experimentales.....	87
<b>Tabla 17:</b> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra media mediante pruebas experimentales.....	90
<b>Tabla 18:</b> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Intensa mediante pruebas experimentales.....	94
<b>Tabla 19:</b> Efecto de la concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en tipo de Muestra Clara mediante pruebas experimentales.....	97
<b>Tabla 20:</b> Efecto de la concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en tipo de Muestra Media mediante pruebas experimentales.....	99
<b>Tabla 21:</b> Efecto de la concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en tipo de Muestra Intensa mediante pruebas experimentales.....	102
<b>Tabla 22:</b> Efecto de la concentración de otras variables como ser el Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> en tipo de Muestra Clara .....	105
<b>Tabla 23:</b> Efecto de la concentración de otras variables como ser el Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> en tipo de Muestra Media.....	107

<b>Tabla 24:</b> Efecto de la concentración de otras variables como ser el $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ en tipo de Muestra Intensa .....	109
<b>Tabla 25:</b> Parámetros iniciales y finales de los resultados de las dosis óptimas del proceso, de cada tipo de muestra. ....	112
<b>Tabla 26:</b> Datos obtenidos experimentalmente para realizar el estudio cinético Muestra Clara ...	115
<b>Tabla 27:</b> Cálculos para la cinética de reacción Muestra Clara .....	117
<b>Tabla 28:</b> Datos obtenidos experimentalmente para realizar el estudio cinético Muestra Media..	119
<b>Tabla 29:</b> Cálculos para la cinética de reacción Muestra Media.....	121
<b>Tabla 30:</b> Datos obtenidos experimentalmente para realizar el estudio cinético Muestra Media..	123
<b>Tabla 31:</b> Cálculos para la cinética de reacción Muestra Intensa .....	125

## INDICE DE ESQUEMAS

<b>Esquema 1:</b> Metodología de la investigación .....	10
<b>Esquema 2:</b> Esquema industrial del proceso “Fenton” .....	29
Esquema 3: Flujograma de proceso planta de Topería .....	35
Esquema 4: Flujograma de proceso planta de Hilandería .....	40
<b>Esquema 5:</b> Flujograma de proceso planta de Tintorería.....	42
<b>Esquema 6:</b> Proceso de transformación de materia prima en producto terminado.....	43

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructura química de los colorantes azoicos.....	26
<b>Figura 2:</b> Mecanismo de reacción de colorantes azoicos.....	27
<b>Figura 3.-</b> Ubicación de planta Altifibers S.A. y Oficinas centrales Altifibers S.A.....	34
<b>Figura 4:</b> Llamas del altiplano Boliviano.....	36
<b>Figura 5:</b> Selección y Clasificación de la fibra .....	37
<b>Figura 6:</b> Proceso de cardado .....	38
<b>Figura 7:</b> Proceso de Peinado .....	39
<b>Figura 8:</b> Planta de Hilandería.....	41
<b>Figura 9:</b> Planta de Tintorería.....	42
<b>Figura 10:</b> Producto terminado Tops.....	44
<b>Figura 11:</b> Producto terminado Hilos: Trenza, cono y ovillo.....	45
<b>Figura 12:</b> Recetas base del laboratorio de Tintorería.....	49
<b>Figura 13:</b> Estructura química Rojo Nylosan N-2RBL.....	50
<b>Figura 14:</b> Estructura química Rojo Nylosan N-2RBL .....	50
<b>Figura 15:</b> FLYNOX 1, máquina donde se toma parte de las muestras .....	73
<b>Figura 16:</b> Filtración de la muestra.....	74
<b>Figura 17:</b> Medición de pH en sistema Fenton, después de acidificar .....	74
<b>Figura 18:</b> Prueba de la dosis optima, dejando reaccionar .....	75
<b>Figura 19:</b> Medición del pH, mientras se neutraliza la muestra.....	76
<b>Figura 20:</b> Prueba de la DQO mediante el método del permanganato en laboratorio.....	78
<b>Figura 21:</b> Equipo pH-metro HANNA.....	79
<b>Figura 22:</b> Equipo turbidímetro HANNA .....	80
<b>Figura 23:</b> Equipo secadora LAB DRYER .....	81
<b>Figura 24:</b> Diferentes tipos de muestra .....	83
<b>Figura 25:</b> Pruebas experimentales dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Clara.....	87
<b>Figura 26:</b> Pruebas experimentales dosis másica del sulfato ferroso para Muestra Media.....	91
<b>Figura 27:</b> Pruebas experimentales dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Intensa.....	93
<b>Figura 28:</b> Pruebas experimentales reducción de DQO y turbidez .....	105
<b>Figura 29:</b> Pruebas experimentales dosis óptimas para cada tipo de muestra .....	112
<b>Figura 30:</b> Pruebas experimentales para el modelo cinético .....	113

<b>Figura 31</b> Sistema experimental empleado en laboratorio.....	114
--	-----

## INDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica 1:</b> Diagrama de fracción de las especies de Fe(III) y Fe(OH) <sub>3</sub> en equilibrio a 25 °C .....	30
<b>Grafica 2:</b> Grafica de Pareto de los efectos.....	70
<b>Grafica 3:</b> Grafica de Contorno de NTU vs FeSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	71
<b>Grafica 4:</b> Grafica de Superficie de NTU vs FeSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	72
<b>Grafica 5:</b> Determinación de la DQO para cada tipo de muestra.....	83
<b>Grafica 6:</b> Dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Clara .....	86
<b>Grafica 7:</b> Grafica DQO vs FeSO <sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra clara .....	88
<b>Grafica 8:</b> Grafica Turbidez vs FeSO <sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra clara .....	89
<b>Grafica 9:</b> Dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Media.....	90
<b>Grafica 10:</b> Grafica DQO vs FeSO <sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Media .....	91
<b>Grafica 11:</b> Grafica Turbidez vs FeSO <sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Media .	92
<b>Grafica 12:</b> Dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Intensa .....	93
<b>Grafica 13:</b> Grafica DQO vs FeSO <sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Intensa .....	94
<b>Grafica 14:</b> Grafica Turbidez vs FeSO <sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Intensa.	95
<b>Grafica 15:</b> Dosis másica del peróxido de hidrogeno para Muestra Clara.....	96
<b>Grafica 16:</b> Grafica DQO vs H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Clara...	97
<b>Grafica 17:</b> Grafica Turbidez vs H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Clara .....	98
<b>Grafica 18:</b> Dosis másica del peróxido de hidrogeno para Muestra Media .....	99
<b>Grafica 19:</b> Grafica Turbidez vs H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Media .....	100
<b>Grafica 20:</b> Grafica DQO vs H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Media	101
<b>Grafica 21:</b> Dosis másica del peróxido de hidrogeno para Muestra Intensa.....	102
<b>Grafica 22:</b> Grafica Turbidez vs H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Intensa.....	103

<b>Grafica 23:</b> Grafica DQO vs $H_2O_2$ Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Intensa .....	104
<b>Grafica 24:</b> Grafica DQO vs $Al(SO_4)_3$ Efecto de la concentración del coagulante Muestra Clara .....	106
<b>Grafica 25:</b> Grafica Turbidez vs $Al(SO_4)_3$ Efecto de la concentración del coagulante Muestra Clara	107
<b>Grafica 26:</b> Grafica DQO vs $Al(SO_4)_3$ Efecto de la concentración del coagulante Muestra Media .....	108
<b>Grafica 27:</b> Grafica Turbidez vs $Al(SO_4)_3$ Efecto de la concentración del coagulante Muestra Media .....	109
<b>Grafica 28:</b> Grafica DQO vs $Al(SO_4)_3$ Efecto de la concentración del coagulante Muestra Intensa ..	110
<b>Grafica 29:</b> Grafica Turbidez vs $Al(SO_4)_3$ Efecto de la concentración del coagulante Muestra Intensa .....	111
<b>Grafica 30:</b> Grafica DQO vs tiempo estudio cinético Muestra Clara .....	116
<b>Grafica 31:</b> Grafica $\ln(DQO)$ vs $\ln(DQO/t)$ regresión lineal cinética de reacción Muestra Clara.....	118
<b>Grafica 32:</b> Grafica DQO vs tiempo estudio cinético Muestra Media .....	120
<b>Grafica 33:</b> Grafica $\ln(DQO)$ vs $\ln(DQO/t)$ regresión lineal cinética de reacción Muestra Media...	122
<b>Grafica 34:</b> Grafica DQO vs tiempo estudio cinético Muestra Intensa .....	124
<b>Grafica 35:</b> Grafica $\ln(DQO)$ vs $\ln(DQO/t)$ regresión lineal cinética de reacción Muestra Intensa..	125

# 1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

El agua es un recurso cada vez más escaso, y es indispensable para todo tipo de vida en nuestro planeta, el rápido desarrollo de las comodidades para el ser humano ha dado paso al uso inadecuado de este recurso, sufriendo así grandes impactos ambientales, así mismo la cada vez más exigente reglamentación, normativas y leyes drásticas en materia de vertidos de efluentes, en la mayoría de los casos de manera directa a los alcantarillados obliga a estas industrias a mejorar la calidad de sus efluentes los cuales podrían ser recuperados implementando técnicas modernas y adecuadas para su tratamiento.<sup>1</sup>

La industria textil en los últimos años ha tenido un crecimiento sostenido después de un tiempo de retroceso. El futuro del sector textil nacional está fuertemente ligado y condicionado por la globalización de los mercados. La industria textil abarca un amplio abanico de actividades que empiezan en la producción de fibras naturales o artificiales hasta llegar a un producto terminado que suele denominarse “sector confección”. Las plantas textileras consumen grandes cantidades de agua y por lo cual también generan cantidades importantes de efluentes líquidos, estos efluentes difieren en cada planta en su volumen y composición como consecuencia de la cantidad y variedad de productos elaborados, equipos y tecnología aplicada.

---

<sup>1</sup> Martínez, O. P. (2008). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu mediante procesos de oxidación avanzada*. Lima- Peru.

### **1.1.1 La empresa textil ALTIFIBERS S.A.**

Desde su inicio en enero de 1990, la empresa textil Altifibers S.A. ha estado comprometida con las necesidades de la industria textil al aprovechar nuestra experiencia en las fibras naturales que se originan en animales de llama y alpaca, lo que resulta en un valor agregado significativo de estas fibras a través de la fabricación de distintivos, cálidos y suaves. y prendas bellamente coloreadas.

Altifibers S.A. comenzó comercializando tops de llama y alpaca, originalmente procesadas en Europa. Estas fueron bien recibidas por las empresas textiles europeas, que consideraron que las tops eran de una calidad adecuada para sus mercados. Sin embargo, los altos costos de transporte y procesamiento redujeron la competitividad de los precios del producto y, por lo tanto, limitaron el desarrollo del mercado europeo. Por lo tanto, se decidió industrializar el producto en Bolivia, aprovechando así los costos de procesamiento considerablemente más bajos.

Actualmente Altifibers S.A. se ha convertido en la principal industria exportadora de textiles de llama, alpaca y oveja en Bolivia. Cuenta con infraestructura adecuada para llevar adelante el proceso productivo; sus volúmenes de exportación superan las 600 toneladas por año y sus productos se venden en 17 países en todo el mundo, en los cuales goza de amplio reconocimiento.

El impacto mayor lo genera en la creación de empleos directos e indirectos. Altifibers S.A. compra el 60% de la producción nacional de lana de alpaca, oveja y llama a los acopiadores de todo el sector andino, esto quiere decir, que la producción de fibras naturales está a cargo de más de 280 mil familias que se relacionan directamente con la industria.

- En 1995, Altifibers S.A. adquirió e instaló una planta para la producción de tops (fibras peinadas) a escala industrial en La Paz, Bolivia. En 2002, la compañía adquirió una segunda línea de peinado que aumentó la producción total a 840,000 kg por año.<sup>2</sup>
- Esta inversión permitió a Altifibers S.A. consolidar su posición en el mercado y expandirse a otros mercados, participando así activamente en el mercado mundial de tops de llama, fibras de alpaca y lana de oveja.
- Durante 1996, se realizaron una serie de pruebas para mejorar la selección de las fibras de llama para lograr una mejor calidad. Estas pruebas demostraron que la separación entre pelos gruesos y finos mejoró sustancialmente el producto.
- Aproximadamente 200 trabajadores se emplearon en la eliminación manual de las fibras gruesas (depilación manual). A través de meses de capacitación y experiencia operativa, se observó que aunque las fibras obtenidas eran de una calidad más alta, éstas no alcanzaban el nivel de calidad requerido por el exigente mercado textil internacional.
- A principios de 1997, se decidió incorporar tecnología (luego no probada para este tipo de producto) para depilar las fibras de llama por medios mecánicos. Este esfuerzo pionero resultó en una inversión para adquirir cinco líneas de producción depilatorias. Técnicos europeos altamente cualificados dedicaron mucho tiempo a este fin. Como resultado de este nuevo enfoque, las fibras de llama depiladas producidas cumplieron con todos los requisitos de calidad de nuestros mercados internacionales.

---

<sup>2</sup> *www.Altifibers.com*. (2018). Obtenido de *www.Altifibers.com*: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

- Debido a esta situación, se decidió expandir las líneas de producción con equipos fabricados en Inglaterra, iniciando así el único proceso mecanizado para la depilación de fibras de llama en el mundo, colocando a Altifibers S.A. a la vanguardia de los procesos de depilación de fibras naturales en el mundo. Actualmente, la capacidad de producción de productos depilados en diferentes calidades es de 240,000 kg por año.<sup>3</sup>
- Habiendo adquirido este nicho y una excelente experiencia en esta área del ámbito textil internacional, se desarrollaron nuevas oportunidades de negocios que permitieron varios proyectos.
- En la década de 2000, Altifibers S.A. creó un conglomerado de cuatro subsidiarias. Tres están dedicadas específicamente al área de procesos industriales textiles y la otra a la venta de prendas. Además, durante el mismo período de tiempo, la compañía comenzó a desarrollar sus propias tecnologías para el proceso de depilación. El trabajo ha cambiado de simplemente modificar y adaptar para ensamblar completamente las máquinas.
- Esos hitos han impulsado los productos de la compañía para alcanzar niveles de calidad más altos en los mercados internacionales.
- Para el 2010, Altifibers S.A. refinó su papel en el conglomerado, enfocándose en todo el proceso industrial de hilos y tops.
- En 2012, la compañía construye otra planta de fabricación y el cultivo produce y exporta entre 30 y 40 toneladas mensuales.

---

<sup>3</sup> *www.Altifibers.com*. (2018). Obtenido de *www.Altifibers.com*: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

### 1.1.2 Procesos de oxidación avanzada (POAs)

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”) son procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes.

El concepto fue inicialmente establecido por Glaze y colaboradores, quienes definieron los POAs como los procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, fundamentalmente como el radical hidroxilo ( $\text{HO}\cdot$ ). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica.

Algunos POAs, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados.<sup>4</sup>

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria textil es una de las más importantes en el país, al mismo tiempo es una de las industrias con mayor consumo de agua, y que genera una gran cantidad de contaminantes de diferentes procedencia (colorantes, aditivos, auxiliares y otros químicos) los más destacados los colorantes, estos fueron diseñados inicialmente para ser altamente resistentes a diferentes condiciones de solidez.

La existencia de colorantes en los cuerpos de agua con lleva a graves problemas ambientales, ya que no permiten la difusión del oxígeno y la luz, por esta razón es que son considerados como

---

<sup>4</sup> Soliz, M. T. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas.*

Barcelona: Universitat politècnica de Catalunya.

persistentes en el ambiente, debido a su naturaleza química, haciendo notable la falta de procesos de tratamiento de aguas residuales en el área textil a nivel local y nacional.

La gran cantidad de agua utilizada en la empresa Altifibers S.A. en el proceso de tintorería, es vertida directamente al sistema de alcantarillado, la cual podría ser recuperada mediante el tratamiento de aguas residuales a través del método propuesto de oxidación avanzada “Fenton”, con el fin de ser reincorporado a un ciclo de producción de la empresa de referencia.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

#### **1.3.1 Justificación Académica**

En la presente investigación para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil Altifibers S.A. se pretende profundizar y aplicar los conocimientos aprendidos en la casa superior de estudio como ser: tratamiento de aguas, balance de materia, fisicoquímica, análisis cualitativos- cuantitativos y operaciones unitarias.

El presente proyecto también contribuirá como línea base de datos correspondientes al tema para futuros proyectos en la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Mayor de San Andrés

#### **1.3.2 Justificación Económica**

Existen muchos métodos de tratamientos de aguas residuales para la industria textil, pero debido al alto costo que representan, las industrias no los toman en cuenta. El procesos de oxidación avanzada “Fenton” bibliográficamente es eficiente para el área de la Industria textil y de bajo costo por lo que permite proponer este método para degradar contaminantes de diferentes procedencias, representando así una amortización para la empresa Altifibers S.A. en costos del proceso productivo, debido a que se pretende dar una reutilización a los efluentes del sector tintorería para el sector de lavado de materia prima, de esta manera disminuir costos de consumo

de agua, proponiendo un proceso factible para la empresa.

### **1.3.3 Justificación Ambiental**

La importancia del recurso agua hace que cada día prestemos más atención por cuidar y preservar este líquido vital para el desarrollo de la vida en el planeta. Las cifras de consumo de agua en las Industrias son alarmantes, ya que las fábricas del rubro textil en su mayoría, no realiza un tratamiento para su posterior reutilización.

Enormes cantidades de agua que son vertidos a los alcantarillados, contaminando los cursos de aguas naturales. Existe la necesidad de promover técnicas eficientes para un tratamiento de aguas como ser POAs (procesos de oxidación avanzada “Fenton”) y así contribuir con la preservación de este recurso vital, se propone el presente proyecto.

### **1.3.4 Justificación Social**

El presente proyecto propone un tratamiento adecuado para el tipo de efluentes del área textil, para satisfacer las necesidades de bien estar social y salud de la población, ya que la descarga de efluentes sin previo tratamiento son un riesgo para los recursos hídricos, que son cada vez más escasos debido al incremento en el índice de crecimiento poblacional.

## **1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO**

### **1.4.1 Alcances**

Este estudio se fundamenta en la búsqueda de dar una solución a los efluentes provenientes de la industria textil Altifibers S.A., vertidos directamente al sistema de alcantarillado con el fin de ser reincorporado a un ciclo de producción en planta mediante un tratamiento de efluentes.

## **1.4.2 Limitaciones**

Una limitación importante es que el proyecto está dirigido al tema técnico de la planta de tintorería, dejando de lado el tema económico debido a que se trata de un proyecto netamente de investigación científica y de criterios tomados de diferentes referencias bibliográficas.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Realizar un estudio de tratamiento de aguas residuales del sector de tintorería de la empresa textil Altifibers S.A., por el método de oxidación avanzada “Fenton” a nivel Laboratorio.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización físico química del efluente del sector tintorería antes del tratamiento de aguas
- Aplicar el diseño experimental como herramienta estadística y de evaluación de datos para efectuar pruebas experimentales en laboratorio del proceso “Fenton”
- Determinar la concentración óptima del reactivo “Fenton”.
- Evaluar el proceso “Fenton” mediante la caracterización fisicoquímica del efluente final.
- Estudiar el modelo cinético del proceso “Fenton” del tratamiento de aguas

## **1.6 METODOLOGÍA**

La metodología a emplear es indispensable ya que se debe seguir una secuencia lógica y progresiva en las etapas de tratamiento. Por lo tanto para asegurar el éxito del tratamiento, primero se cuantificara las pruebas a nivel laboratorio en el sistema de tratamiento de aguas, para

posteriormente realizar un estudio cinético.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar una metodología sistemática para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil mediante los procesos secuenciales de un PAO (proceso de oxidación avanzada “Fenton”), seguido de coagulación.

### **1.6.1 Plan de Trabajo**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se plantea la siguiente estructura, de acuerdo a los objetivos específicos (OE) planteados anteriormente.

- Identificación y evaluación de los productos que generan la contaminación del agua en los procesos de teñido.
- Realizar pruebas experimentales en laboratorio del proceso “Fenton” con ayuda del diseño experimental
- Determinar la concentración óptima del reactivo “Fenton” que ayude a disminuir la concentración de contaminantes de los efluentes
- Corroboración por parte de una entidad independiente y certificada para el efecto, de que los datos obtenidos en las pruebas son reales y fidedignas
- Analizar los resultados obtenidos
- Estudiar el modelo cinético del proceso de oxidación avanzada “Fenton”, en base a los resultados obtenidos de las pruebas en laboratorio

**Esquema 1: Metodología de la investigación**



**Fuente:** Elaboración propia

## 2 CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1 EL AGUA

El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El termino agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor.

El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmosfera, embalses, ríos y seres vivos. Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación y transpiración (evapotranspiración), precipitación y desplazamiento hacia el mar. Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura.

El agua en la industria absorbe una medida del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Angel, D. N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa)*. Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

## **2.2 AGUAS RESIDUALES**

La contaminación actúa sobre el medio ambiente acuático alterando el delicado equilibrio de los diversos ecosistemas integrado por organismos productores, consumidores y descomponedores que interactúan con componentes sin vida originando un intercambio cíclico de materiales. El hombre depende intensamente del medio ambiente acuático para satisfacer sus necesidades tecnológicas y sociales. Las aguas residuales constituyen un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos, siendo necesarios los sistemas de depuración antes de evacuarlas, como medida importante para la conservación de dichos sistemas.

Las aguas residuales, contaminadas, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso de diversas actividades. También se denomina vertidos. Se trata de aguas con un alto contenido de elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que son evacuadas. Del total de vertido generado por los focos de contaminación, solo una parte es recogida en redes de saneamiento, mientras que el resto es evacuado a sistemas naturales directamente.<sup>6</sup>

## **2.3 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES**

### **2.3.1 Aguas residuales industriales**

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, definiendo las características de los vertidos no solo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Es mucha más contaminada que las aguas

---

<sup>6</sup> Angel, D. N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa)*. Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.<sup>7</sup>

### **2.3.2 Las aguas residuales urbanas**

Las aguas residuales domésticas son las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

## **2.4 TIPOS DE CONTAMINANTES**

Actualmente, la contaminación de los cauces naturales tiene su origen en tres fuentes.

### **2.4.1 Contaminantes orgánicos**

Son compuesto cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

- Proteínas: proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- Carbohidratos: incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- Aceites y grasas: altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

---

<sup>7</sup> Angel, D. N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa)*. Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

- Otros: incluiremos varios tipos de compuestos, como los tensoactivo, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

#### **2.4.2 Contaminantes inorgánicos**

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

### **2.5 CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES**

#### **2.5.1 Arenas**

Entendemos como tales una serie de partículas de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

#### **2.5.2 Grasas y aceites**

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

### 2.5.3 Nitrógeno y fósforo

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de excretas humanas.<sup>8</sup>

### 2.5.4 Contaminantes recalcitrantes en el agua

En el tratamiento de aguas residuales o efluentes industriales se pueden determinar una serie de contaminantes como contaminantes recalcitrantes. Los contaminantes recalcitrantes son aquellos que por tener una estructura muy estable químicamente, se resisten a su remoción por microorganismos o de cualquier mecanismo de degradación sea biológica, física o química.

Dentro de este tipo de contaminantes podemos mencionar a hidrocarburos, compuestos fenólicos, disolventes halogenados, colorantes y compuestos aromáticos.

En el proceso de biodegradación de estos compuestos por ser altamente resistentes, estos requieren utilizar catalizadores para acelerar el proceso de degradación. En el proceso de tratamiento terciario de aguas residuales, las bacterias mediante su metabolismo, en el proceso de descomposición de los contaminantes, generan un flujo de electrones y lo que hace el catalizador es acelerar esa transferencia de electrones en el metabolismo de las bacterias. En presencia de energía lumínica, es entonces que los electrones van a ser transferidos a los contaminantes para destruirlos y convertirlos en moléculas más simples e inocuas.

---

<sup>8</sup> Angel, D. N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa)*. Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

### **2.5.5 Contaminación del agua por materia orgánica refractaria**

La materia orgánica refractaria son compuestos resistentes a la degradación microbiana. Se deben tener en cuenta las características específicas del agua residual y la naturaleza de los compuestos tóxicos para la elección de los métodos de tratamiento por oxidación.

## **2.6 AGUAS RESIDUALES TEXTILES**

La industria textil ha presentado notables problemas medioambientales vinculados principalmente al uso y la gestión del agua. El impacto ambiental de sus efluentes líquidos es muy diverso, por la gran variedad de materias primas, reactivos y métodos de producción existentes en ellos.

La industria textil consume diariamente grandes cantidades de agua en la mayoría de sus procesos. Dichos efluentes se caracterizan generalmente por su elevada demanda química de oxígeno (DQO), elevada temperatura, alto contenido en color, pH inestable, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos clorados. Estas aguas, una vez tratadas, generalmente son vertidas al alcantarillado público.<sup>9</sup>

La necesidad de gestionar racionalmente los limitados recursos hídricos y la agresión ambiental que comportan las aguas contaminadas, ha causado que a lo largo de los años se hayan introducido leyes cada vez más restrictivas que exigen a las industrias del sector tratar sus aguas, antes de verterlas. Este hecho ha forzado al desarrollo e investigación de tecnologías para el tratamiento de aguas usadas en aplicaciones industriales.

---

<sup>9</sup> *Mundo Textil*. (2015). Recuperado el 27 de agosto de 2019, de [www.mundotextilmag.com.ar](http://www.mundotextilmag.com.ar): <https://mundotextilmag.com.ar/>

Son todavía pocas las industrias que se proponen la reutilización en algún punto del proceso industrial como en el caso del lavado, refrigeración, etc. La tendencia actual va encaminada hacia la implementación de tecnologías de remediación eficaces que logren alcanzar un nivel de depuración suficiente como para reutilizar las aguas tratadas y reducir el consumo del recurso.<sup>10</sup>

## **2.7 TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL**

Los tratamientos biológicos son los más utilizados para tratar los efluentes líquidos de la industria textil, e incluyen básicamente tratamientos aeróbicos que pueden ser combinados por una o más etapas de tratamiento, como sedimentación, tamizado, coagulación o cualquier otro tratamiento fisicoquímico avanzado, como ultrafiltración o adsorción sobre carbón activado. La eficiencia del tratamiento biológico para la disminución de la DQO depende fuertemente del ratio  $DBO_5/DQO$ . El valor medio de esta relación en una industria textil es de 0,35, lo que hace difícil la eliminación total de la DQO. Es conveniente llevar este ratio a un valor no menor de 0,6 para lograr una biodegradabilidad aceptable en el efluente. La solución que se plantea para este tipo de efluentes residuales es su tratamiento mediante depuradoras biológicas convencionales, de un menor coste, y que basan su depuración en la degradación de la materia orgánica, y no de separación o aislamiento como los procesos que tienen lugar en los tratamientos como la coagulación-floculación, filtración o adsorción sobre carbón activado. Aún así, la mayoría de la materia orgánica de estos efluentes es no biodegradable y/o tóxica, por lo que el tratamiento con fangos activados resulta ineficiente. En consecuencia, el empleo de los Procesos Avanzados de

---

<sup>10</sup> Soliz, M. T. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas*.

Barcelona: Universitat politècnica de Catalunya.

Oxidación, como tratamientos exclusivos puede constituir una alternativa viable para la eliminación de la materia orgánica de un efluente textil.

### **2.7.1 Oxidación química para tratamiento de aguas residuales textiles**

En el tratamiento de aguas residuales, el proceso de oxidación química se utiliza para eliminar amoníaco, compuestos refractarios, compuestos tóxicos alifáticos y aromáticos halogenados y para reducir el contenido bacteriano y vírico del agua residual. Este proceso de oxidación química en presencia de espectros de energía radiante de UV, remocionan contaminantes recalcitrantes de coloración de procesos textiles.

Se ha visto que para oxidar el amoníaco se utiliza cloro, pero presenta el problema de la formación de trihalometanos. Se pueden utilizar otros oxidantes como el ozono o el dióxido de cloro que además tienen la ventaja de que son desinfectantes. El ozono también elimina el color recalcitrante de las aguas residuales.<sup>11</sup>

### **2.7.2 Tratamiento de aguas residuales tratamiento primario**

Los tratamientos primarios de los contaminantes de un cuerpo de agua, básicamente son tratamientos físicos. El cribado es utilizado para la remoción de sólidos en suspensión donde, a través de rejillas, los materiales flotantes gruesos son separados. La sedimentación es utilizada para separar sólidos en suspensión de tamaño pequeño. Este método se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. La flotación es un proceso utilizado para separar sólidos de baja densidad. También se incluye los métodos de coagulación para la remoción de material en suspensión y los métodos de absorción.

---

<sup>11</sup> Castro, G. M. (1985). *Tratamiento biológico de aguas residuales para reuso de irrigación en áreas verdes*.

### **2.7.3 Tratamientos secundarios.**

Los tratamientos secundarios de los cuerpos de agua incluyen procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, en lagunas de estabilización anaeróbicas, facultativas y tratamientos con lodos activados que, por acción de bacterias y algas, oxidan o reducen los componentes orgánicos contaminantes del agua.<sup>12</sup>

### **2.7.4 Tratamientos terciarios**

Son métodos de tratamiento avanzado, química o por radiación. En estos tratamientos, la eliminación, de los compuestos tóxicos persistentes para la biótica acuática, se realiza mediante la mineralización completa del contaminante y, en otros casos, se busca que el compuesto inicial se degrade a compuestos inocuos.

### **2.7.5 Técnicas avanzadas de oxidación aplicadas al tratamiento de aguas**

Las técnicas o Procesos Avanzados de Oxidación (TAOs, PAOs) son procesos fisicoquímicos que pueden producir cambios significativos en la estructura química de algunos contaminantes, consiguen comúnmente una mineralización total de éste, son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento principalmente el biológico, se usan para tratar contaminantes a muy baja concentración (ppb), consumen generalmente menos energía que otros métodos como la incineración y normalmente no producen lodos que necesiten un posterior tratamiento y/o disposición posterior.

Igualmente se definen como aquellos procesos de oxidación que involucran la generación y uso de especies transitorias como el radical hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ) en cantidad suficiente para interactuar con los compuestos orgánicos del medio y llegar incluso a reaccionar 10<sup>6</sup>-10<sup>12</sup> veces más rápido

---

<sup>12</sup> Angel, D. N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa)*. Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

que los oxidantes alternativos como el ozono. Estas técnicas fueron recopiladas de la bibliografía y posteriormente organizadas como se observa en la tabla 1, en la cual se catalogan en procesos no Fotoquímicos o Fotoquímicos dependiendo de la presencia o ausencia de radiación luminosa. Para la degradación de colorante directo Azul Novasyn Luz BRL (130%) en una muestra de agua sintética preparada a nivel laboratorio y una muestra de agua residual industrial con contenido de este colorante, se trabajó con una técnica fotoquímica clasificada como fotocátalisis heterogénea.<sup>13</sup>

**Tabla 1** Técnicas de oxidación avanzada más utilizados.

<b>Técnicas</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Fotoquímica</b>	Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UUV) UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> UV/O <sub>3</sub> Foto-”Fenton” Ferrioxalato y otros complejos de Fe(III) UV/Peryodato Fotocátalisis heterogénea
<b>No Fotoquímica</b>	Ozonización en medio alcalino (O <sub>3</sub> /OH <sup>-</sup> ) Ozonización con peróxido de Hidrogeno (O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) Procesos “Fenton” (Fe <sup>+2</sup> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y relacionados Oxidación electroquímica Radiólisis y tratamiento con haces de electrones Plasma no térmico Descarga electrohidráulica – Ultrasonido Oxidación en agua subterránea y supercrítica

**Fuente:** (Angel, 2017)

<sup>13</sup> Angel, D. N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa)*. Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

## 2.8 REUTILIZACIÓN DEL AGUA

La reutilización de aguas residuales es un componente intrínseco del ciclo natural del agua. Mediante el vertido de estos efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reutilizadas incidentalmente en puntos aguas abajo de los cauces para aprovechamientos urbanos, agrícolas e industriales. La reutilización directa o planificada del agua a gran escala tiene un origen más reciente, y supone el aprovechamiento directo de efluentes, con un mayor o menor grado de regeneración, mediante su transporte hasta el punto de utilización a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua.<sup>14</sup>

La reutilización del agua no es una tarea fácil ya que debe de cumplir con varios requisitos y que son los siguientes:

- Que satisfaga la calidad del agua para el uso que se le quiera dar.
- Que no deteriore o afecte a los ambientes a los que ha de llegar.
- Que no cause problemas de salud a los seres que están en contacto con la actividad a la que el agua es destinada.
- Que satisfaga el concepto de sostenibilidad.

Adicionalmente, la calidad del agua necesaria para su uso industrial dependerá de los requerimientos concretos de cada empresa.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Soliz, M. T. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas*. Barcelona: Universitat politècnica de Catalunya.

<sup>15</sup> Castro, G. M. (1985). *Tratamiento biológico de aguas residuales para reuso de irrigación en áreas verdes*. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León .

## 2.9 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN (PAOs)

Los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs), han sido propuestos básicamente en los últimos años como alternativas eficaces en la depuración de suelos y aguas contaminadas, con resultados realmente interesantes. La presencia de compuestos tóxicos y/o recalcitrantes supone un importante problema para los tratamientos biológicos convencionales.

Las tecnologías de separación mencionadas anteriormente tampoco son capaces de eliminar este problema ya que transfieren la contaminación de una fase a otra o generan un efluente más concentrado. Además, en los últimos años, la aparición de los denominados “contaminantes emergentes” (pesticidas, fármacos, etc.) genera un problema adicional debido a la escasa información disponible sobre sus efectos en el medioambiente o sus interferencias en los procesos biológicos. Debido a su capacidad para degradar estos contaminantes, los PAOs resultan una opción atractiva para llevar a cabo este tipo de tratamiento. Los PAOs se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Generan especies transitorias de gran poder oxidativo, principal y comúnmente, el radical hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee una alta efectividad para la oxidación de la materia orgánica. Se pueden enumerar los siguientes objetivos:

- Mineralización de los contaminantes, especialmente los compuestos orgánicos recalcitrantes, hasta su completa transformación en dióxido de carbono, agua y aniones inorgánicos, evitando la formación de subproductos o residuos.
- Degradación de contaminantes orgánicos en compuestos más biodegradables y/o menos tóxicos.

- Eliminación de color y/o olor.
- Desinfección.

Cabe remarcar que 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 tabla 1 se muestra un listado de los potenciales normales de oxidación-reducción en medio ácido de los principales oxidantes químicos, en la cual queda reflejado el elevado poder oxidante de los radicales hidroxilos con respecto a otros agentes oxidantes.<sup>16</sup>

**Tabla 2:** Potenciales redox de algunos agentes oxidantes en medio ácido

<b>Especie</b>	<b>E<sup>0</sup> (V, 25°C)</b>
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Oxígeno atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de hidrógeno	1,78
Radical perhidroxilo	1,70
Permanganato	1,68

**Fuente.-** (Rodríguez 2003)

Una de las posibles clasificaciones de los PAOs se puede dar en función de la fuente de generación de la especie oxidante, es decir, el método para generar los radicales hidroxilos.

<sup>16</sup> Jurado, J. B. (2009). *Degradación de un efluente textil real mediante procesos "Fenton" y Foto-"Fenton"*.

Esta clasificación se muestra en el esquema de la Tabla 3, donde se recogen los principales tipos de PAOs según sean fotoquímicos o no fotoquímicos. La amplia variedad de técnicas disponibles evidencia la versatilidad de los mismos<sup>17</sup>:

**Tabla 3:** Clasificación de los PAOs

<b>Procesos no fotoquímicos</b>	<b>Procesos fotoquímicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ozonización en medio alcalino (O<sub>3</sub>/OH).</li> <li>• Ozonización con peróxido (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).</li> <li>• Procesos “Fenton” (Fe(II)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</li> <li>• Oxidación electroquímica</li> <li>• Oxidación sub y supercritical</li> <li>• Plasma no térmico Ultrasonido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotólisis en el ultravioleta de vacío (UVV) UV/ peróxido de hidrógeno</li> <li>• UV/O<sub>3</sub></li> <li>• Foto-Fenton (Fe(II)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV)</li> <li>• Fotocatálisis</li> </ul>

Fuente.- (Rodríguez 2003)

### 2.9.1 PROCESO “FENTON”

Entre los diferentes PAOs disponibles, el proceso “Fenton” es considerado el más prometedor debido a su elevada eficacia y bajo coste en la remediación de aguas contaminadas con compuestos tóxicos y/o no biodegradables. El proceso “Fenton” es efectivo para degradar compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PCBs, nitroaromáticos, 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. Se ha aplicado exitosamente para la reducción de la DQO de aguas municipales y subterráneas y en el tratamiento de efluentes de lixiviados de vertederos municipales y empresas papeleras y textiles.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Jurado, J. B. (2009). *Degradación de un efluente textil real mediante procesos “Fenton” y Foto-“Fenton”*.

Barcelona: Universitat politecnica Catalunya.

<sup>18</sup> Jurado, J. B. (2009). *Degradación de un efluente textil real mediante procesos “Fenton” y Foto-“Fenton”*.

Barcelona: Universitat politecnica Catalunya.

## 2.9.2 MECANISMO DE REACCION “FENTON”

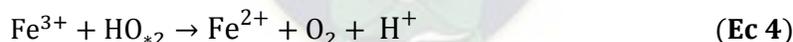
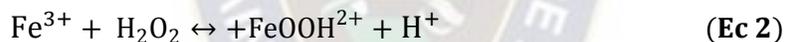
### 2.9.2.1 Proceso de “Fenton”.

La generación de radicales hidroxilo tiene lugar al combinar peróxido de hidrógeno y una sal de hierro (II), mezcla que se denomina reactivo de “Fenton” (Ecuación 1). Se trata de una reacción muy rápida que se produce en oscuridad, se omiten los ligandos del agua en las reacciones:



El ión Fe (III) puede reducirse por reacción con  $\text{H}_2\text{O}_2$  y formar de nuevo ión Fe (II) y más radicales hidroxilos. Este segundo proceso se denomina Fenton-like. Es más lento que el proceso de “Fenton”, y permite la regeneración de Fe(II).<sup>19</sup>

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



---

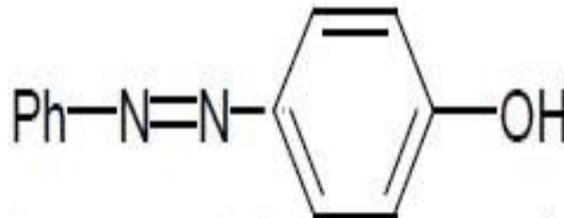
<sup>19</sup> Levano, J. L. (2013). *Aplicaciones de Proceso foto-electro “Fenton” para la oxidación de contaminantes en la industria química*. Lima- Peru: Universidad Nacional de Ingeniería.

## 2.9.2.2 Mecanismo de reacción “Fenton” para colorante Azoicos.

### 2.9.2.2.1 Colorantes Azoicos

Un colorante azoico es un colorante sintético que se caracteriza por tener un grupo cromóforo azo que le da el respectivo color  $-N=N-$  conjugado con anillos aromáticos por ambos extremos. Todos los colorantes azo son solubles en agua, son ácidos y sus propiedades físicas son muy similares. Este grupo de colorantes son susceptibles a los agentes oxidantes; ya que son reducidos por agentes reductores fuertes, por ejemplo el peróxido de hidrógeno, monóxido de carbono, compuestos derivados del cloro: cloruro de estaño, halógenos: flúor, cloro, bromo, yodo.<sup>20</sup>

**Figura 1:** Estructura química de los colorantes azoicos



**Fuente:** (Levano, 2013)

### 2.9.2.2.2 Mecanismo de reacción para el colorante azoico Carmoizina

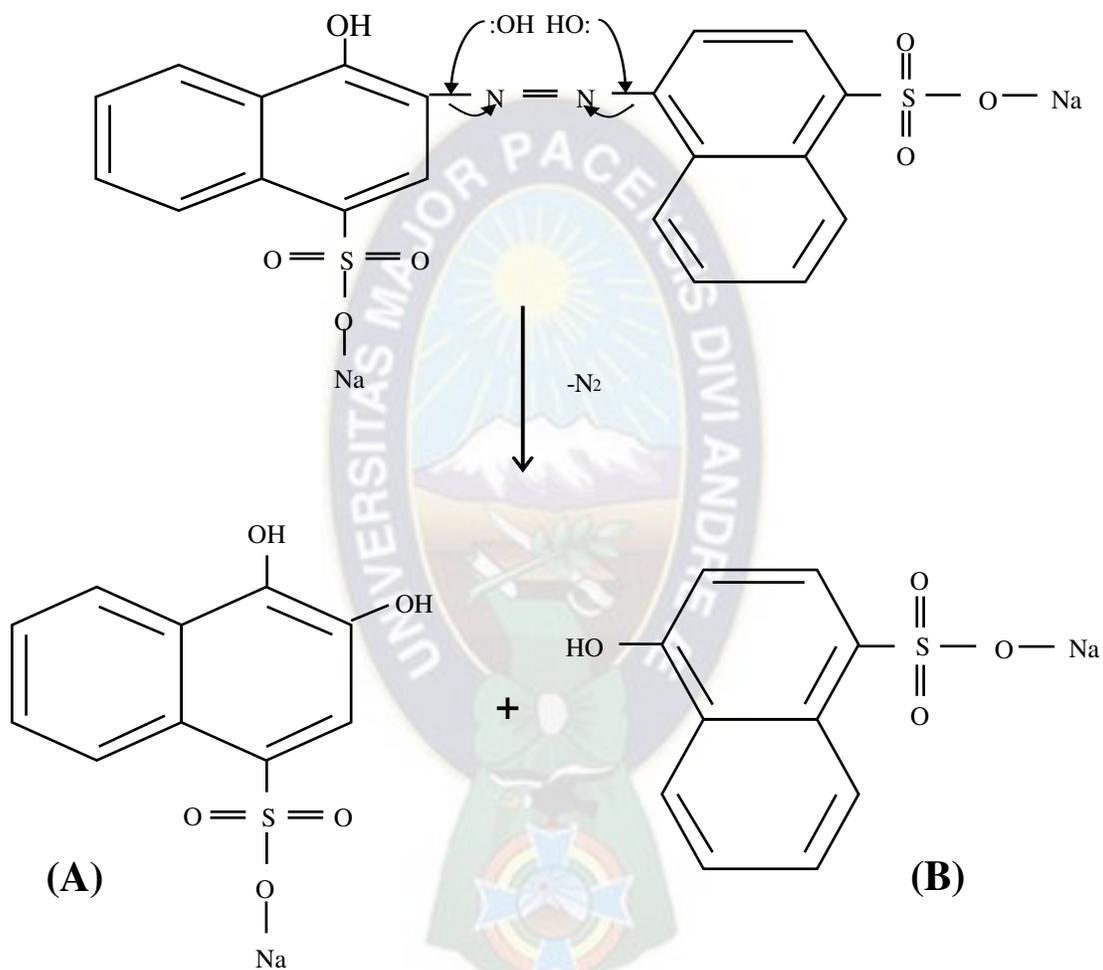
En la figura 2 se muestra un mecanismo propuesto de degradación de la Carmoisina. La degradación de la Carmoisina se lleva a cabo mediante un proceso de oxidación mediante

---

<sup>20</sup> GONZÁLEZ, K. Y. (2018). *Efecto de la luz solar y el peroxido de hidrogeno en la degradacion de un colorante usando un catalizador de cobre y cobalto*. Toluca, Mexico: UGRAM.

radicales hidroxilo que se obtuvieron del peróxido de hidrógeno inducido por los efectos del catalizador  $\text{Fe}^{+2}$ . Este tipo de mecanismo se ha informado en reacciones similares de sustancias coloreadas

**Figura 2:** Mecanismo de reacción de colorantes azoicos<sup>21</sup>



Fuente: (GONZÁLEZ, 2018)

<sup>21</sup> GONZÁLEZ, K. Y. (2018). *Efecto de la luz solar y el peroxido de hidrogeno en la degradacion de un colorante usando un cataluzador de cobre y cobalto*. Toluca, Mexico: UGRAM.

### 2.9.3 Proceso “Fenton” a nivel industrial

En el proceso de “Fenton” a nivel industrial ha de tenerse en consideración el equipamiento necesario para que pueda tener lugar la reacción (Esquema 2). Generalmente, se parte de un reactor principal que es donde tiene lugar el proceso de “Fenton” en modo discontinuo (modo Batch). El reactor Batch consiste en un depósito 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 ácido o base), y dosificar el sulfato de hierro y el peróxido de hidrógeno (35-50%) en disolución.<sup>22</sup>

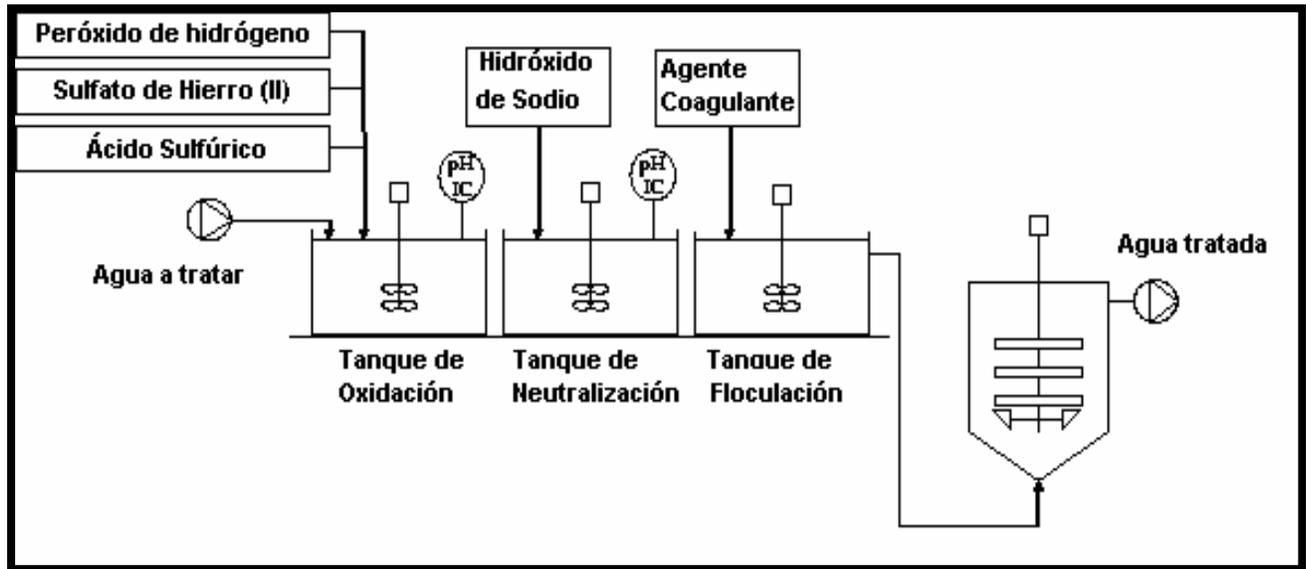
Se recomienda que dicho reactor esté provisto de una capa interna que lo proteja, ya que la reacción de “Fenton” es muy agresiva y puede provocar la corrosión del mismo.

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 a poco para no alterar el pH. A continuación se añade el reactivo “Fenton”, cantidad óptima 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. Éste se hace coagular en un tanque mediante un agente coagulante. Una vez separadas estas dos fases ya se obtendrá un efluente tratado.

---

<sup>22</sup> Soliz, M. T. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas*.

**Esquema 2:** Esquema industrial del proceso “Fenton”



Fuente: (Soliz, 2016)

#### 2.9.4 Parámetros que influyen en el proceso

Las condiciones de operación en las que el proceso se lleva a cabo, así como la composición del agua residual, afectan sustancialmente a la eficacia y velocidad del proceso de oxidación. Los principales parámetros que influyen en el proceso son<sup>23</sup>:

##### 2.9.4.1 pH.

El sistema “Fenton”, como se ha comentado anteriormente, 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, donde el Fe (III) existe en solución mayoritariamente como

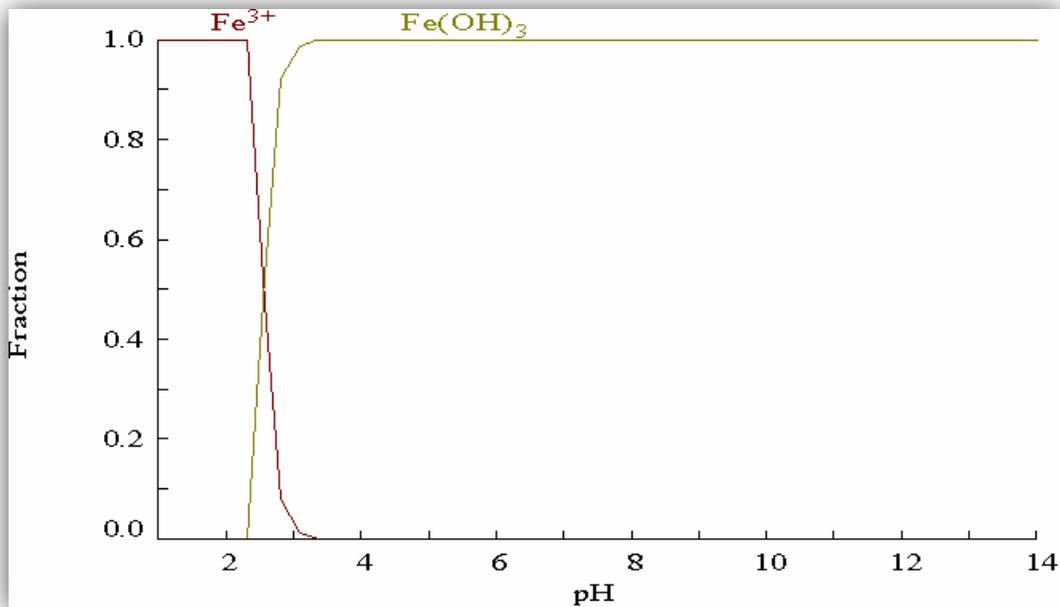
---

<sup>23</sup> Soliz, M. T. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas*.

Barcelona: Universitat politècnica de Catalunya.

$\text{Fe}(\text{OH})^{2+}(\text{H}_2\text{O})_5$ . A pH altos, la velocidad disminuye debido a la precipitación de hierro en forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

**Grafica 1:** Diagrama de fracción de las especies de Fe(III) y  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  en equilibrio a 25 °C



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  $\text{H}_2\text{O}_2$  obstaculizando la generación de OH. Además, disminuye el coeficiente de absorción de los complejos de hierro. **Fuente:** (Ruiz, 2015)

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 OH. Este grupo de reacciones requiere, por tanto, un control riguroso del pH<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Ruiz, C. S. (2015). *Reacciones "Fenton" (FT-TER-003)*. Brazil: Universidad de Coruña.

#### 2.9.4.2 Relación Fe (II)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

La dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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 la eficacia debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como es el caso de la formación de Fe(OH)<sub>3</sub> 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.<sup>25</sup>

La relación estequiométrica [Fe(II)]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] 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 más favorable de operación desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental.

#### 2.9.4.3 Temperatura.

La reacción de oxidación “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 hidrógeno en oxígeno y agua y la precipitación del hierro en forma de hidróxido debido a que su constante de producto de solubilidad (K<sub>ps</sub>) disminuye. Operando a presiones de hasta 3 atmósferas se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 100°C sin riesgo de descomposición del peróxido. Este aspecto es muy importante debido a que las industrias textiles tienen una

---

<sup>25</sup> Levano, J. L. (2013). *Aplicaciones de Proceso foto-electro "Fenton" para la oxidación de contaminantes en la industria química*. Lima- Peru: Universidad Nacional de Ingeniería.

temperatura elevada en su proceso de producción, por lo que no sería necesario aplicar un aporte energético extra.<sup>26</sup>

### 2.9.5 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 4) queda reflejado un resumen de las principales ventajas e inconvenientes del proceso Fenton y Foto-Fenton:

**Tabla 4:** Principales ventajas e inconvenientes de los procesos “Fenton” y Foto-Fenton

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Fe (II) es muy abundante en la Tierra, no es tóxico y es muy seguro.</li> <li>• El peróxido de hidrogeno es fácil de manejar y ambientalmente benigno.</li> <li>• No se forman compuestos clorados nocivos como en otras técnicas oxidativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el proceso finaliza, se necesita una etapa de neutralización para separar el hierro, generando un lodo que se ha de gestionar adecuadamente.</li> <li>• El peróxido de hidrógeno es un compuesto bastante más caro que el Fe (II) y es el principal causante del coste final del tratamiento.</li> <li>• El proceso “Fenton” no es capaz de lograr una completa mineralización de todos los contaminantes orgánicos, pero sí 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, fumárico), algunos aldehidos, cloroformo y acetona</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen limitaciones de transferencia de masa por tratarse de un sistema homogéneo.</li> <li>• El diseño de reactores para la aplicación tecnológica es bastante sencillo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso foto-”Fenton”, cuando se emplean lámparas UV como fuente de radiación, implica un aumento en los costes.</li> <li>• El proceso requiere un estricto control del pH.</li> </ul>

<sup>26</sup> Ruiz, C. S. (2015). *Reacciones “Fenton” (FT-TER-003)*. Brazil: Universidad de Coruña.

- 
- El proceso Foto-”Fenton” puede realizarse bajo radiación solar, una fuente renovable y barata de energía.
  - La radiación solar es distinta según la zona en la que se esté por lo que el proceso puede verse limitado en el tiempo del tratamiento para obtener un valor óptimo y aceptable de degradación.
- 

**Fuente:** (Levano, 2013)

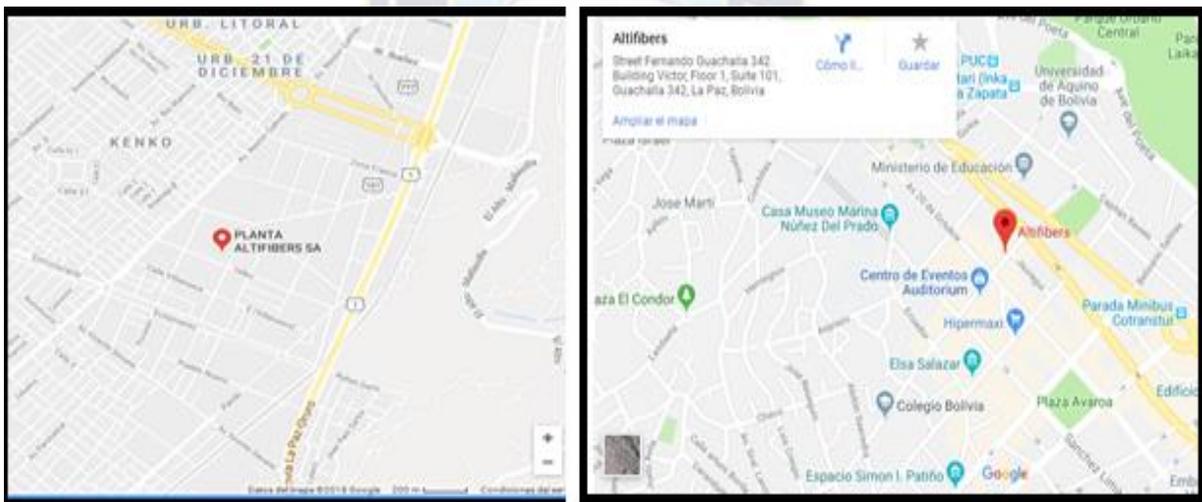


### 3 CAPITULO III: ESTUDIO DE LA PLANTA TEXTIL ALTIFIBERS S.A.

#### 3.1 DEPENDENCIAS E INSTALACIONES

Altifibers S.A. posee una propiedad de 25,000 metros cuadrados, de los cuales 12,000 metros cuadrados en los que se encuentra emplazada la infraestructura de la empresa. Ubicado en la Ciudad de El Alto a una altura de 4,100 metros (12,360 pies) sobre el nivel del mar. Este es el lugar donde residen todas las fases de los procesos de producción, las materias primas y las cadenas de producción se integran armoniosamente para garantizar los exigentes estándares de los mercados textiles internacionales.<sup>27</sup>

**Figura 3.-** Ubicación de planta Altifibers S.A. y Oficinas centrales Altifibers S.A.



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

Las oficinas centrales de Altifibers S.A. están ubicadas en la ciudad de La Paz (a 20 km de la fábrica), donde se encuentran los departamentos de mercadeo, ventas, finanzas y administración.

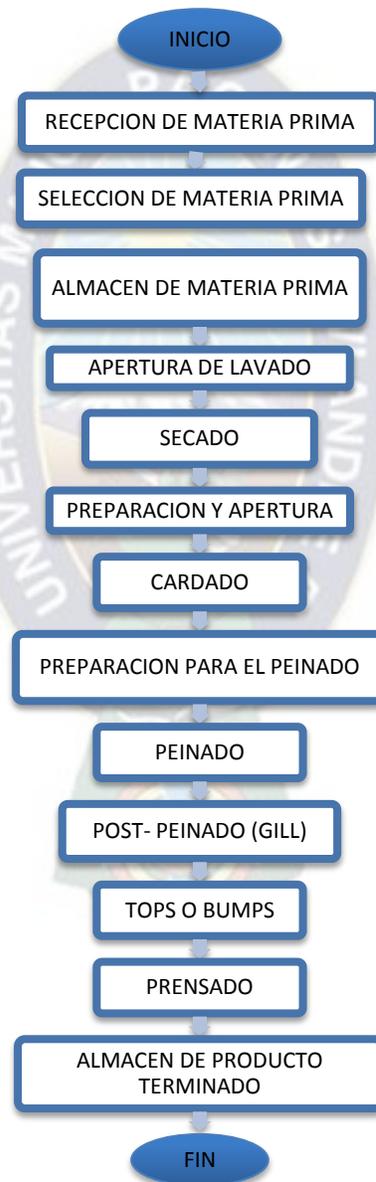
<sup>27</sup> www.Altifibers.com. (2018). Obtenido de www.Altifibers.com: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

## 3.2 PROCESO PRODUCTIVO

### 3.2.1 Área de Topería

A continuación se muestra el Flujograma de proceso de la planta de topería:

**Esquema 3:** Flujograma de proceso planta de Topería



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.1.1 Acopio o Compra

Los pastores de llama y alpaca se encargan de criar y también de esquilarse a los animales. Después, hay comerciantes intermedios que compran y recolectan la fibra cruda de ellos y la venden a Altifibers S.A.<sup>28</sup>

**Figura 4:** Llamas del altiplano Boliviano



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

La empresa “Altifibers S.A.” cuenta con una sección específicamente de acopio o compra de la fibra de los diferentes proveedores de nuestro país.

### 3.2.1.2 Selección y Clasificación de la fibra

La selección o clasificación de la fibra es un proceso manual en el cual el vellón es separado en diferentes grupos de calidades. Es una sección donde se clasifica la fibra según color y según la finura dependiendo al pedido del cliente.

---

<sup>28</sup> www.Altifibers.com. (2018). Obtenido de www.Altifibers.com: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

El vellón recortado se enrolla y se ata, luego se despide con otros 20 a 40 en bolsas de plástico o de arpillera que pesan entre 200 y 400 libras. Las bolsas se numeran para identificar la fuente y se envían a planta para su procesamiento, lo que nos lleva a la siguiente fase del proceso de producción.

**Figura 5:** Selección y Clasificación de la fibra



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

### **3.2.1.3 Lavado.**

El lavado inicia el proceso industrial por el cual se libra de impurezas a la fibra. El principal objetivo del lavado es el de eliminar la grasa contenida en cada fibra.

Las lanas/fibras se lavan y se frotan para eliminar la grasa, la materia vegetal y otras impurezas. Los tres procesos de limpieza comercial incluyen jabón y álcali, nafta y métodos esmerilados. A esto le sigue una fase de secado cuidadosamente controlada.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> *www.Altifibers.com*. (2018). Obtenido de *www.Altifibers.com*: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

#### **3.2.1.4 Descerdado.**

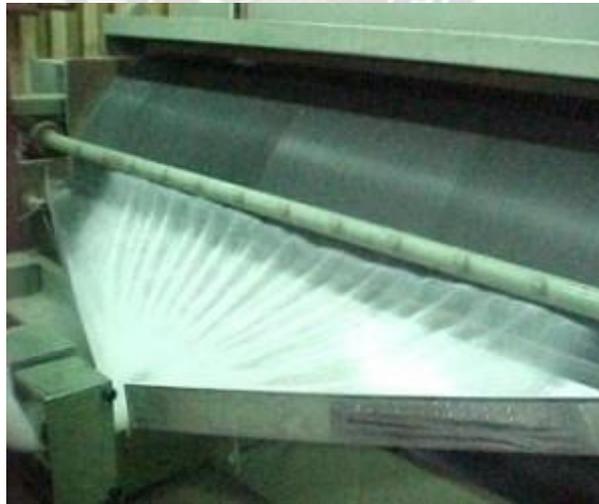
Debido a las características muy cerdosas de la fibra de llama, esta es la única fibra que pasa por descerdado el cual tiene como función principal el eliminar las cerdas o pelos gruesos dándole un valor agregado significativo a la fibra ya mencionada.

#### **3.2.1.5 Cardado.**

El cardado prepara la lana/fibras para su hilado pasándola a través de un sistema de rodillos mecánicos cubiertos con dientes cableados.

Las lanas/fibras se enredan, se colocan en paralelo y se forman en una red fina y luego se dividen en tiras continuas estrechas o astillas, las astillas de lana se trenzan a máquina para formar cuerdas en forma de sogas, llamadas mechas, que se enrollan en bolas listas para el hilado.

**Figura 6:** Proceso de cardado



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

#### **3.2.1.6 Peinado.**

Para telas más suaves, como la gabardina y el crepé, las fibras se combinan después de la etapa de cardado para eliminar las fibras cortas o los noils.

Los Noils pueden usarse para producir artículos de lana, mezclados con fibras más largas, para hacer fieltros.<sup>30</sup>

**Figura 7:** Proceso de Peinado



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

### 3.2.2 Área de Hilandería

A continuación se muestra el proceso de la planta de hilandería:

---

<sup>30</sup> *www.Altifibers.com*. (2018). Obtenido de *www.Altifibers.com*: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

**Esquema 4:** Flujograma de proceso planta de Hilandería



En el proceso del hilado, se elaboran los hilos de diferentes calidades, cabos, mezclas y títulos dependiendo al requerimiento del cliente<sup>31</sup>, donde a través de parámetros de control de calidad de hilado se verifica torsión, resistencia, regularidad y elongación mediante equipos de última generación.

---

<sup>31</sup> *www.Altifibers.com*. (2018). Obtenido de *www.Altifibers.com*: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

**Figura 8:** Planta de Hilandería



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)<sup>32</sup>

### 3.2.3 Área de Tintorería

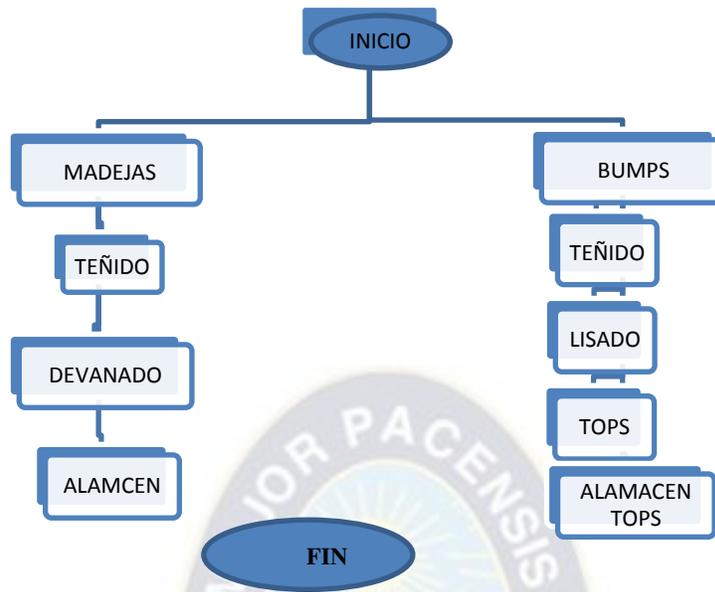
A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso:



---

<sup>32</sup> *www.Altifibers.com*. (2018). Obtenido de *www.Altifibers.com*: [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

**Esquema 5:** Flujograma de proceso planta de Tintorería



*Fuente: Elaboración propia*

La fibra de llama viene en una rica paleta de tonos naturales y su teñido tiene un proceso accesible para lograr satisfacer el mercado internacional de la moda. El hilo se lleva a cabo en un recipiente presurizado utilizando tintes ecológicos que están aprobados para la fabricación de prendas de vestir.

**Figura 9:** Planta de Tintorería



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

En la planta de tintorería se pueden obtener una gama infinita de colores y tonos con máquinas de última generación donde se puede teñir diferentes calidades de fibras y mezclas, esta planta posee máquinas cuya función son el teñido en madejas y bumps<sup>33</sup>.

### 3.3 PRODUCTOS

Altifibers S.A. tiene dos productos principales: hilos y tops. Tanto de llama, alpaca y oveja

**Esquema 6:** Proceso de transformación de materia prima en producto terminado



Fuente: (Mundo Textil, 2015)<sup>34</sup>

#### 3.3.1 Tops

Los tops se venden de acuerdo con los requisitos del cliente y las necesidades específicas. Están disponibles en colores naturales y teñidos también, y se entregan en bobinas (huecas) o protuberancias.

<sup>33</sup> [www.Altifibers.com](http://www.altifibers.com/). (2018). Obtenido de [www.Altifibers.com](http://www.altifibers.com/): [http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

<sup>34</sup> *Mundo Textil*. (2015). Recuperado el 27 de agosto de 2019, de [www.mundotextilmag.com.ar](http://www.mundotextilmag.com.ar/): <https://mundotextilmag.com.ar/>

Altifibers S.A. es una de las pocas empresas del mundo que ha desarrollado un proceso de depilación industrial, obteniendo la nueva fibra auténtica, ligera, suave y moderna, llamada LlamaSoft.<sup>35</sup>

**Figura 10:** Producto terminado Tops



**Fuente:** (www.Altifibers.com, 2018)

### 3.3.2 Hilos

Los hilos tienen dos tipos de teñido: teñido regular y fantasía, que es una mezcla de diferentes colores. Se entregan en tres soportes diferentes: cono, trenza y ovillos.

---

<sup>35</sup> Luza, A. (s.f.). *Altifibers*. Obtenido de [www.Altifibers.com](http://www.Altifibers.com): <http://altifibers.com/main/about-us/>

**Figura 11:** Producto terminado Hilos: Trenza, cono y ovillo



Fuente: (www.Altifibers.com, 2018)

Altifibers S.A. son los pioneros en Bolivia en vender los hilados de fantasía, que es una mezcla de diferentes colores. Hay tres tipos de hilos de fantasía: tubular, boucle y encadenados.

### **3.4 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE TINTORERIA**

#### **3.4.1 Características de la maquinaria**

La maquinaria que se utiliza en el área de tintorería de la industria textil ALTIFIBERS S.A. tiene especificaciones más características de teñido que en general son del diseño para la tintura por agotamiento.

De una forma general, se puede indicar que un colorante se fija en una materia textil por alguno de los dos sistemas que se citan a continuación, o como consecuencia de una combinación de ambos<sup>36</sup>.

---

<sup>36</sup> Rocha, A. M. (2013). *Mejoramiento del proceso de tintorería mediante la determinación de tricromías y curvas de teñido caso: empresa ALTIFIBERS S.A.* La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

### 3.4.1.1 Autoclaves de tintura.

Actualmente en la sección de tintorería de la empresa Altifibers S.A. se trabaja con máquinas llamadas técnicamente autoclaves para tintura ya que son autoclaves que solamente operan hasta temperatura de 105 °C. La característica más importante de los autoclaves de alta temperatura es la de trabajar en un sistema cerrado, el cual está sometido a una presión estática igual o superior a la presión del vapor de agua correspondiente a la temperatura a la cual se está tiñendo. En el mejor de los casos estas máquinas están diseñadas para teñir temperaturas superiores a 130 °C. La ventaja fundamental que ofrece el circuito cerrado en comparación al circuito abierto, antiguamente empleado, reside en evitar la cavitación de la bomba y por consiguiente, el caudal de esta no se ve afectado durante el proceso de tintura.

### 3.4.1.2 Maquinaria para tintura de hilado en madeja

La tintura en hilado en forma de madeja es tal vez el procedimiento más usado en la empresa "Altifibers S.A." para el teñido del material proveniente de hilandería, generalmente este proceso ha sido sustituido por la tintura de hilados en bobinas. Sin embargo, la tintura de madeja suele usarse todavía en aquellos casos en donde la disposición del hilado en otra forma puede alterar adversamente las características de este para ciertas aplicaciones.

## 3.4.2 CAPACIDADES DE LAS MAQUINAS DE TINTORERIA

Ya se describió anteriormente el tipo de maquinarias que tiene la empresa textil Altifibers S.A. 9 es el número de máquinas que está en funcionamiento, sus capacidades son las siguientes

**Tabla 5:** Capacidad instalada de maquinaria de teñido

CAPACIDAD INSTALADA DE MAQUINARIA DE TEÑIDO				
N° de maquina	Nombre de maquina	Capacidad de maquina (kg)	Volumen de agua cargada en maquina (L)	Numero de procesos /día
1	OBEM 1	40	620	2
2	OBEM 2	2	20	4

3	OBEM 3	10	254	3
4	OBEM 4	4	80	3
5	FLYNOX 1	104	2250	2
6	FLYNOX 2	104	2250	2
7	MINOX	20	432	2
8	CMG	120	1342	1
9	NOSEDA	280	5600	1

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3 PRODUCTOS QUÍMICOS QUE SE UTILIZAN EN EL PROCESO DE TEÑIDO

#### 3.4.3.1 Jabon industrial Tissocyl TBL.

Es un detergente especial para lavar lana cruda en planta, tiene el poder emulsionante para el engrasado de lana, este producto se utiliza en el lavado de material antes que se proceda al teñido.

#### 3.4.3.2 Antiespumante.

Es un producto que dificulta la formación de espuma o que disminuye considerablemente su estabilidad a la hora del proceso de lavado de material, antes que se proceda al teñido.

#### 3.4.3.3 Humectante.

Es un producto que, añadido a una disolución, aumenta el poder de mojado de esta última. En el proceso de teñido favorece el mojado a la penetración de los colorantes mediante el agua a las fibras textiles.

#### 3.4.3.4 Igualante.

Para fibras naturales que son de difícil igualación, especialmente para colorantes ácidos y complejo metálicos, el igualante tiene la propiedad de igualar la afinidad de distintas calidades

de lana utilizando el igualante, los colorantes se adhieren mejor a la fibra textil dándole un color homogéneo y duradero.

#### **3.4.3.5 Sal textil.**

La sal textil conocida comúnmente como cloruro de sodio se utiliza para fibras naturales en pocas proporciones, y se utiliza para la estandarización de la intensidad del tinte, y los colorantes se adhieren mejor a la fibra textil dándole un color mucho más homogéneo.

#### **3.4.3.6 Ácido fórmico.**

El ácido fórmico es un compuesto orgánico, que en la industria textil tiene la función de neutralizar las soluciones alcalinas, ya que al introducir los auxiliares modifican el pH neutro que debe adquirir el proceso de teñido

#### **3.4.3.7 Persoftal ASI.**

Es un suavizante siliconado con una combinación de macro y micro emulsión de silicona, este producto se utiliza al final del proceso para que le dé un acabado suave al producto terminado.

#### **3.4.3.8 Colorantes.**

La industria textil Altifibers S.A. cuenta con una extensa paleta de colores, donde cada color esta formulado en base a una receta, que generalmente se basa en una tricromía de colores

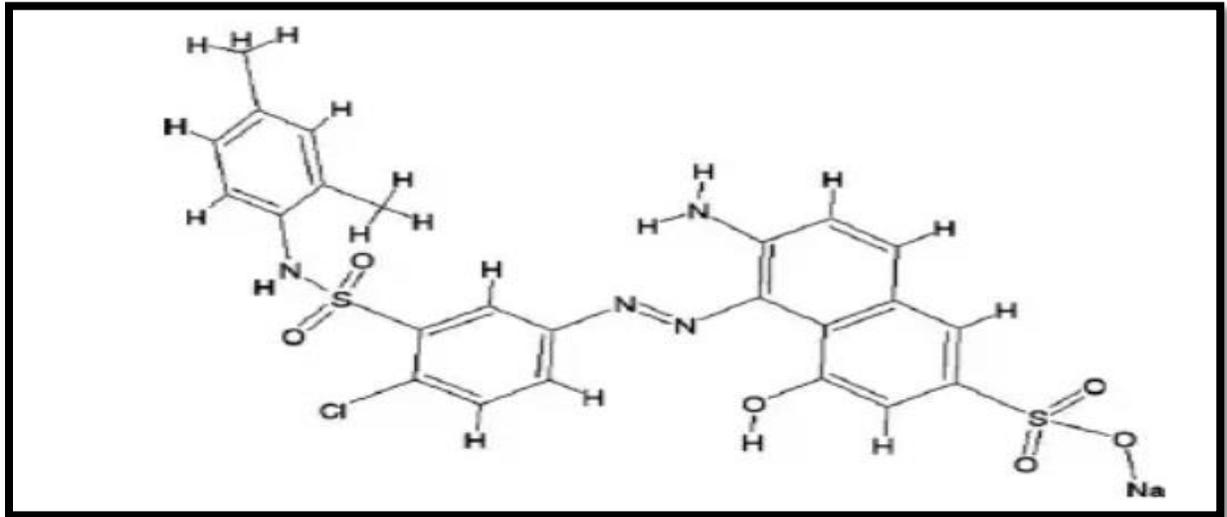
**Figura 12:** Recetas base del laboratorio de Tintorería

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la empresa Textil Altifibers S.A.

Los principales colorantes que utiliza la empresa textil Altifibers S.A. son 9 como se puede ver en la imagen de recetas base, donde existen 104 colores formulados de los cuales el 70% de los colores se basan en 3 colorantes principales para realizar las tricromías:

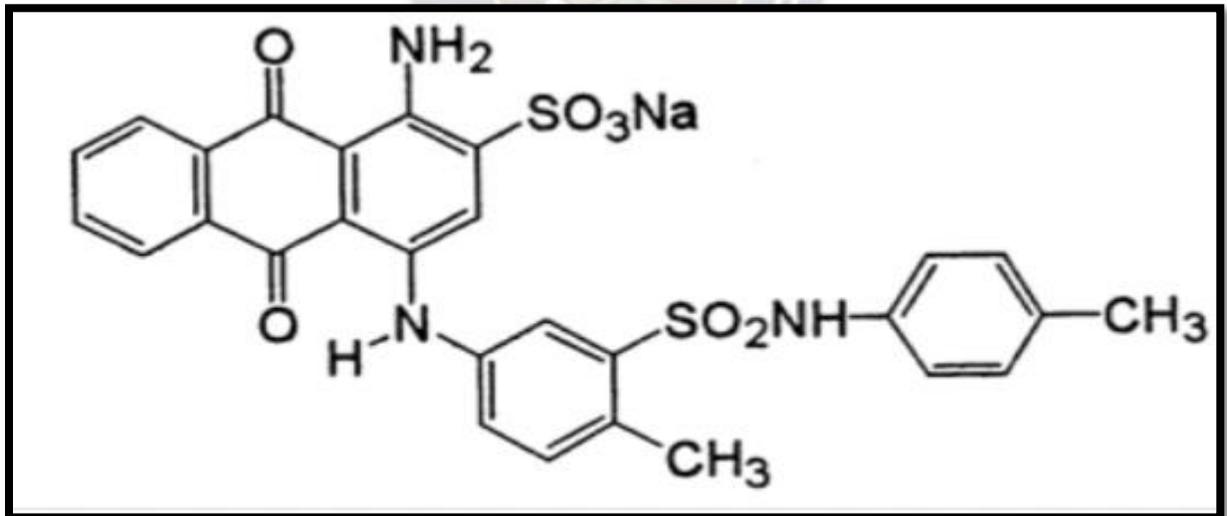
Optilan Golden Yellow MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Nylosan N-BLN, los cuales son colorantes ácidos, que en la constitución química del colorante se encuentran moléculas de grupos ácidos y grupos cromóforos. Son colorantes solubles en agua y se aplican generalmente en fibras naturales.

Figura 13: Estructura química Rojo Nylosan N-2RBL



Fuente: (Mundo Textil, 2015)

Figura 14: Estructura química azul Nylosan N-BLN



Fuente: (Mundo Textil, 2015)

## **4 CAPITULO IV: DIAGNÓSTICO**

El tratamiento de agua residual de los procesos de tintura y acabado que son generados por la industria textil Altifibers S.A. seguirá ante todo las normas ambientales vigentes de la ley del Medio Ambiente 1333, el reglamento de Contaminación Hídrica.

Por este motivo se realiza un diagnóstico de la problemática en la cual se enfoca el presente proyecto de grado. Como se observa en el capítulo anterior, en la operación de teñido de fibra natural, no se da un tratamiento previo a los efluentes de volúmenes considerables, el agua procedente de los procesos contiene diversa variedad de contaminantes tanto de tipo orgánico como inorgánico, y realizando un análisis de los parámetros básicos de contaminación se determinarían si exceden a los niveles permisibles por ley.

### **4.1 GENERACION DE EFLUENTES**

De acuerdo al proceso de producción y productos utilizados en los procesos de tintura y acabado, se observa que junto a las aguas de descarga se arrastra una gran cantidad de productos químicos, tanto orgánicos como inorgánicos, los mismos que luego de un estudio minucioso, son caracterizados, mediante los laboratorios de calidad ambiental L.C.A.

Las descargas de efluentes del sector de lavado de materia prima, tiene su propio sistema de tratamiento de aguas de efluentes exclusivamente de lavado, no se puede utilizar este sistema de tratamiento de aguas para el sector de tintorería ya que es muy complejo quitar el color a estos efluentes, y mancharía la materia prima del sector lavado si se reutilizara los efluentes del sector tintorería, por tal razón que con este proyecto se propone una solución a este problema.

Las descargas procedentes de los servicios sanitarios y domésticos, tienen otra red independiente y no se mezclan con los efluentes procedentes de los procesos.

## **4.2 DETERMINACION DE REQUISITOS EN LA CALIDAD DE EFLUENTE**

Constituye la etapa en la que se decide sobre el grado y exigencia de tratamiento al agua residual. Es asignar valores a los parámetros de calidad del efluente, con el fin que sirvan de base para el mejor tratamiento.

Estos requisitos sobre la calidad del efluente están determinados en base a la conservación del medio ambiente y a la actual ley vigente RASIM.

### **4.2.1 Determinación de los parámetros de control en efluentes industriales**

Establecidos los requisitos para el vertido de efluente se debe determinar los parámetros de control del mismo en base a:

- Medición de caudales generado por el efluente mediante un balance másico de agua
- Caracterización de las efluentes procedentes de los procesos del Área de tintorería

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recolección como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, los parámetros de control recomendadas por bibliografía, considerados en la ley del medio ambiente 1333, y resultado de los análisis de la calidad del efluente, permiten establecer los siguientes parámetros de control.

## **4.3 BALANCE MÁSIICO DEL AGUA**

Se realiza el balance másico del agua, para estudiar la cantidad de agua utilizada en el área de tintorería, primero se determina el flujo de agua general es decir la cantidad de agua que

consume la empresa por día, y de acuerdo a la descripción del proceso de tintorería se realiza el balance másico respectivo.

Para tales propósitos, la empresa cuenta con un pozo de agua de 70 m de profundidad ubicado dentro de los predios de la empresa de donde se realiza un seguimiento estricto al medidor para obtener los datos precisos del flujo total de agua que utiliza la empresa.

**Tabla 6:** Balance másico del agua empresa textil Altifibers S.A.

<b>Balance Másico del agua de la empresa</b>			
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>MEDIDOR</b>	<b>UTILIDAD/DIA</b>
10/06/2019	11:26	342671	1339
11/06/2019	11:27	344010	680
12/06/2019	07:45	344690	789
13/06/2019	07:35	345479	1266
14/06/2019	09:30	346745	1157
15/06/2019	09:30	347902	853
17/06/2019	09:38	348755	842
18/06/2019	08:26	349597	942
19/06/2019	08:59	350539	830
20/06/2019	07:46	351369	1583
24/06/2019	09:18	352952	1599
25/06/2019	14:24	354551	1807
26/06/2019	14:40	356358	2147
27/06/2019	14:56	358505	1997
28/06/2019	14:24	360502	2015
29/06/2019	14:40	362517	1995
01/07/2019	15:00	364512	1999
02/07/2019	14:40	366511	1897
03/07/2019	14:38	368408	1936
04/07/2019	14:37	370344	1725
05/07/2019	14:45	372069	-----
<b>Promedio por día</b>			<b>1469,9</b>
<b>Total mes</b>			<b>29398</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la Empresa Altifibers S.A.

Se realizó el balance másico de agua y se determinó que la cantidad utilizada de agua por día en el área de tintorería equivale a un 38,04% del total utilizada por la empresa, el cual podría ser recuperado y reutilizado para el proceso de lavado en el área de toperia mediante un proceso de tratamiento de aguas secundario el cual se propone en este proyecto.

**Tabla 7:** Balance másico del efluente área de tintorería y frecuencia uso de máquinas

Balance Másico de agua Área de Tintorería													
Nombre de maquina	OBEM 1	OBEM 2	OBEM 3	OBEM 4	FLYNOX 1	FLYNOX 2	MINOX	CMG	NOSEDA	UTILIDAD /DIA			
										Área Tintorería	Área Toperia	%	
Capacidad de maquina (kg)	40	2	10	4	104	104	20	120	280				
Relación Volumen (L)	620	20	254	80	2250	2250	432	1342	5600	V <sub>T</sub> (l)	V(m <sup>3</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	Utilidad/día
Fecha													
10/06/2019	10	10	-	10	10	-	-	10	-	43120	431,2	907,8	<b>32,20</b>
11/06/2019	10	-	10	10	-	-	-	10	-	22960	229,6	450,4	<b>33,76</b>
12/06/2019	10	10	10	-	10	-	10	-	-	35760	357,6	431,4	<b>45,32</b>
13/06/2019	10	10	10	-	10	10	10	-	-	58260	582,6	683,4	<b>46,02</b>
14/06/2019	10	10	10	-	10	-	-	-	-	31440	314,4	842,6	<b>27,17</b>
15/06/2019	10	10	10	10	10	-	-	-	-	32240	322,4	530,6	<b>37,80</b>
17/06/2019	10	-	10	-	10	10	-	-	-	53740	537,4	304,6	<b>63,82</b>
18/06/2019	10	10	10	-	10	10	10	-	-	58260	582,6	359,4	<b>61,85</b>
19/06/2019	20	30	10	-	-	10	-	10	-	51460	514,6	315,4	<b>62,00</b>
20/06/2019	10	10	10	-	10	10	-	-	-	53940	539,4	1043,6	<b>34,07</b>
24/06/2019	-	10	10	-	10	10	-	10	-	61160	611,6	987,4	<b>38,25</b>
25/06/2019	10	-	10	10	10	10	-	-	-	54540	545,4	1261,6	<b>30,18</b>
26/06/2019	-	10	10	-	10	10	-	-	-	47740	477,4	1669,6	<b>22,24</b>
27/06/2019	10	-	10	10	10	10	10	10	-	72280	722,8	1274,2	<b>36,19</b>
28/06/2019	20	-	10	10	-	-	20	10	-	37800	378	1637	<b>18,76</b>
29/06/2019	20	20	10	20	10	-	10	10	-	57180	571,8	1423,2	<b>28,66</b>
01/07/2019	20	10	10	15	10	-	20	10	-	60900	609	1390	<b>30,47</b>
02/07/2019	20	10	10	20	10	10	10	10	-	79480	794,8	1102,2	<b>41,90</b>
03/07/2019	15	10	10	10	10	10	10	-	10	62160	621,6	1314,4	<b>32,11</b>
<b>Frecuencia</b>	17	14	18	10	16	11	9	9	1				<b>38,04</b>
<b>Utilidad/maquina</b>													
<b>%</b>	94,4	77,8	100	55,5	88,8	61,11	50	50	5,6				

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Empresa Altifibers S.A.

#### **4.4 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA**

El pozo de bombeo suministra agua a dos tanques abiertos o reservorios los cuales son el tanque grande y el tanque pequeño cuya capacidad es de 60 m<sup>3</sup> y 40 m<sup>3</sup> correspondientes, el tanque grande suministran agua al área de Toperia en Lavado de material y el tanque pequeño suministra agua al sector de tintorería.

El tanque pequeño sirve para suministro de agua al área de tintorería, el mismo que pasa por una torre de intercambio iónico o ablandador de agua. El agua blanda se almacena en un tanque pequeño con capacidad de 32 m<sup>3</sup> dentro de la tintorería, esta agua blanda se utiliza expresamente para el proceso de teñido. Una propiedad de este tanque es que está diseñado para mantener el agua aproximadamente a 40 °C, debido a que los intercambiadores de calor de las máquinas de tintura retornan sus aguas de enfriamiento al mismo, además de los condensados procedentes del caldero generador de vapor, lo que produce un aumento de calor sensible del agua procedente del pozo.

#### **4.5 BALANCE GENERAL DE AGUAS RESIDUALES**

Para realizar el balance hídrico de la planta textil Altifibers S.A. se realizan las siguientes consideraciones:

La planta cuenta para su funcionamiento con nueve maquinas industriales para el teñido del material, cada una de diferente capacidad en kilogramos y diferente relación de baño o carga de agua, de acuerdo a la (tabla 5)

Los procesos convencionales de tintura, se clasifican en CLAROS, MEDIOS e INTENSOS dependiendo de la intensidad del color, duran 10 horas aproximadamente en una máquina de capacidad mediana, esto incluye los siguientes procesos.

En la siguiente Tabla se puede observar el proceso de teñido claro detallado, el teñido medio e intenso lo podemos ver en (ver Anexo B):

**Tabla 8:** Proceso de teñido claro detallado

PROCESOS DE MAQUINA		Temperatura (°C)	Tiempo (min)
<b>LAVADO DE MAQUINA</b>	Lavado de maquina	95	300
	Enjuague de maquina	60	60
	Neutralizado	60	60
<b>LAVADO DE MATERIAL</b>	Cargado de material		15
	Lavado de material	95	180
	1° Enjuague	60	60
	2° Enjuague	60	60
<b>TEÑIDO DE MATERIAL</b>	Llenado de agua	40	15
	Adición de auxiliares	40	10
	Control de temperatura	40	10
	Adición de colorantes	40	10
	homogenización	40	15
	Control de temperatura	98	60
	Adición 2° Acido	98	20
	Agotamiento	98	30
	Enfriamiento	70	30
	Descarga de agua	70	10
	<b>ENJUAGUE DE TEÑIDO</b>	Llenado de agua	40
Control de temperatura		50	25
Descarga de agua		50	10
Llenado de agua		40	15
Control de temperatura		40	30
lavado en frio		40	10
Descarga de agua		40	10
<b>SUAVIZADO</b>	Llenado de agua	40	10
	Control de temperatura	50	25
	Descarga de agua	50	10

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la Empresa Altifibers S.A.

De acuerdo a los cálculos realizados (ver Anexo A), se tomó en cuenta las máquinas que se utilizan con mayor frecuencia diariamente. Se observa el resultado de los análisis en planta, que

las máquinas que se tomaran en cuenta en el estudio de agua procedente de tintorería son los que se muestran en la siguiente Tabla 7.

**Tabla 9:** Frecuencia de utilidad de maquina

<b>FRECUENCIA DE USO DE MAQUINA</b>		
<b>NOMBRE DE MAQUINA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>% UTILIDAD</b>
OBEM 1	21	100
OBEM 2	15	71,43
OBEM 3	21	100
OBEM 4	13	61,90
FLYNOX 1	20	95,24
FLYNOX 2	15	71,43
MINOX	10	47,62
CMG	11	52,38
NOSEDA	3	14,29

**Fuente:** Elaboración propia

Después de un análisis estadístico, se puede llegar a la conclusión que se tomara en cuenta las maquinas con mayor frecuencia de utilidad que son: OBEM 1, OBEM 3, FLAYNOX 1 Y CMG

#### **4.6 DETERMINACION DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LOS EFLUENTES**

Para el cálculo de caudales no se debe considerar el proceso como continuo, ya que los volúmenes de agua que se cargan a las máquinas, siempre son constantes, lo importante es la capacidad de carga que tiene la máquina de teñido, ya que esta capacidad viene relacionada con la cantidad de agua que se utiliza por proceso. Para este cálculo se ha elaborado una tabla que indica la cantidad de agua que se consume en cada etapa del proceso.

La explicación es sencilla, las maquinas modernas de teñido, están diseñadas con un sistema de control automático que permite la descarga de la maquina en un tiempo que puede ser programado, normalmente el tiempo mínimo de descarga es de 15 min de una máquina de capacidad mediana.

Por lo tanto los caudales de descarga son una relación directa del volumen de agua en la maquina con el tiempo de descarga.

**Tabla 10:** Caudales de descarga

<b>Caudales de descarga</b>				
<b>N° de maquina</b>	<b>Nombre de maquina</b>	<b>Volumen de maquina (L)</b>	<b>Tiempo de descarga</b>	<b>Caudales de descarga</b>
1	OBEM 1	620	15	41,3
3	OBEM 3	254	10	25,4
5	FLYNOX 1	2250	20	112,5
7	CMG	1342	15	28,8

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la Empresa Altifibers S.A.

Por lo que el caudal máximo en caso de que las cuatro máquinas se descarguen simultáneamente es 208 (L/min)

#### **4.7 CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES**

La caracterización de las aguas residuales, está de acuerdo al tipo de proceso que se realiza durante el teñido de material, para ello se toman muestras en la finalización de cada teñido por máquina, para mezclarlos en una sola muestra ya que así se tiene una muestra real del efluente de tintorería por turno. La muestra de acuerdo a su análisis respectivo, presenta las siguientes características:

- Alta DBO
- Alta DQO
- Alta Turbidez
- Altos Solidos totales
- pH neutro
- Dureza neutra
- Conductividad neutra

**Tabla 11:** Resultados preliminares del el efluente Muestra clara

Caracterización inicial Parámetros	Unidad	Resultados preliminares	Límites permisibles
		<b>Muestra clara</b>	
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	μS/cm	1764	-
<b>DBO5</b>	mg/l	166	80
<b>DQO</b>	mg/l	785	250
<b>DUREZA TOTAL</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /l	29	-
<b>PH</b>	-	7,4	6,9
<b>ST</b>	mg/l	1449	60
<b>TURBIDEZ</b>	NTU	3,9	2

**Fuente:** Datos copiados de los análisis realizados por el Laboratorio de calidad ambiental (LCA). (Ver Anexo D)

## **4.8 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LOS ANALISIS PRELIMINARES**

### **4.8.1 Turbidez**

La turbidez es la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión, la turbidez se mide en NTU: Unidades Nefelometricas de Turbidez. En relación con la materia de color se lleva a cabo mediante la comparación y de la intensidad registrada en referencia a las mismas condiciones.

El color es una determinación cualitativa, no constituyendo un parámetro de medición directa del grado de contaminación. Sin embargo una de las características proveniente del agua de los procesos textiles, es su alto grado de coloración, debido a que los colorantes usados para el proceso tienen un grado de agotamiento no superior al 80%, lo que quiere decir que un 20% del colorante que entra en proceso, tiende a hidrolizarse en el agua dejando así un alto grado de

coloración. El grado de coloración depende de la clasificación asignada teñidos Intensos, Medios y Claros

Realizando una revisión de los análisis preliminares, el parámetro de turbidez varía desde 3NTU en teñidos claros hasta 40NTU en teñidos intensos, lo cual sobre pasa los límites permisibles por ley.

#### **4.8.2 Potencial de hidrogeniones (pH)**

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de una disolución que indica la concentración de iones de hidrógenos presentes en la disolución.

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno

$$pH = -\log(H^+) \quad (Ec 5)$$

La concentración del ion hidrogeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrogeno inadecuadas presenta dificultades que puede modificar la concentración de ion hidrogeno en las aguas naturales si este no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

El rango de pH que se logró determinar en la caracterización previa de las muestras de los efluentes fue de 4 a 7 potenciales de hidrogeniones, donde se lo puede catalogar como un pH neutro.

#### **4.8.3 Sólidos totales**

Analíticamente se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se

define como solida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor

De los sólidos totales procedentes de los procesos de teñidos (colorantes y auxiliares) presentaron un rango de 1449 a 2605 mg/l donde la ley establece un máximo de 1560 mg/l de solidos totales.

#### **4.8.4 Conductividad**

La corriente eléctrica es transportada a través del agua, por los iones metálicos procedentes de la disociación de sus sales. Esta propiedad es utilizada para la medición de la conductividad, que es la facilidad que tienen los iones disociados para fluir hacia los electrodos de carga contraria, o la facilidad de transportar la corriente eléctrica en solución, lo cual nos ayuda a determinar una concentración aproximada del ion metálico disuelto en el agua; sus unidades son  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

De acuerdo a la ley ambiental no hay un valor establecido para la conductividad, sin embargo esta refleja la presencia de electrolitos y productos inorgánicos en el agua, generalmente sales, los análisis nos muestran una conductividad eléctrica de  $1764 \mu\text{S}/\text{cm}$  el cual consultando reportes internacionales de uso de aguas de riego agrícola está dentro de los límites permisibles

#### **4.8.5 Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales es la DBO a 5 días (DBO<sub>5</sub>). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO<sub>5</sub> se emplean para:

- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiera para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

- Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento
- Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

Los valores de la DBO<sub>5</sub> en los análisis preliminares tiene un valor de 166 mg/l el que sobrepasa los límites permisibles de descargas líquidas donde la ley establece una DBO<sub>5</sub><80 mg/l, esta elevación puede tener una explicación ya que la muestra tomada no se analizó al instante debido a que se tardó en el traslado de la entidad de la empresa a los laboratorios de análisis.

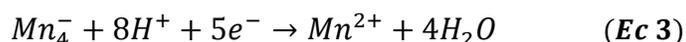
#### 4.8.6 Demanda química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida, es decir que se considera como la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación química total de la materia orgánica para transformarse en productos finales inorgánicos.

La DQO de aguas residuales suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

La oxidación química de las materias orgánicas y de las sustancias oxidables se puede efectuar con el permanganato de potasio en caliente. Según la acidez del medio y la temperatura. Este test convencional permite apreciar el contenido de materia orgánica al mismo tiempo que la presencia de otras sustancias reductoras.

La reacción se llevará fundamentalmente en medio ácido, en la cual el permanganato se reduce a Mn II. La semireacción producida es:



La DQO es una función directa de la cantidad de compuestos orgánicos presentes en la solución acuosa, y los análisis están demostrando existe presencia notable de productos de carácter orgánico como los auxiliares de teñido y los mismos colorantes. Los valores de la DQO en los análisis preliminares tiene un valor de 785 mg/l, el que sobrepasa los límites permisibles de descargas líquidas donde la ley establece una  $DQO < 300 \text{ mg/l}$ .

#### **4.8.7 Dureza total**

La dureza del agua se debe a la existencia de determinados cationes en solución, especialmente calcio y magnesio. La determinación de la dureza total se basa en la formación de complejos solubles entre el EDTA con los iones calcio y magnesio. Estas reacciones dependen del pH, por lo que se trabaja a pH 10. Tanto el calcio como el magnesio se determinan mediante dos volumetrías con la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético ( $\text{Na}_2\text{-AEDT}$ ) como agente complejante y un indicador metalocrómico para detectar el punto final.

Los análisis preliminares dan de resultado una dureza de 29 ppm el cual consultando reportes internacionales de uso de aguas de riego agrícola entra en los límites permisibles

### **4.9 IDENTIFICACION DE LOS PRODUCTOS CONTAMINANTES**

A continuación se describen los productos que generan los altos índices de contaminación en los parámetros básicos de control:

- Colorantes ácidos utilizados en la industria textil para procesamiento de fibra natural, los que durante el proceso de tinción genera partículas de colorante hidrolizado, es el colorante que no ha reaccionado con la fibra natural, sus concentraciones son variadas de acuerdo a los colores producido, su aporte principal es el alto grado de coloración el agua residual y sólidos totales.

- Detergentes y tensoactivos, productos de gran importancia los cuales son utilizados durante los procesos de tintura como protectores del genero debido a las condiciones extremas al que es sometido dentro de las máquinas y también para la eliminación del colorante hidrolizado o en exceso, presente en la parte interna e íntima de la fibra, su aporte es un alto grado de DBO, DQO y solidos totales.
- Suavizante y ácidos grasos, cuya finalidad es la de mejorar la presentación final del material en lo referente en acabado, aportan elevado DQO y DBO.
- Sulfato de sodio residual, este producto que cumpla la función de electrólito, en el proceso de tintura, aporta gran cantidad de solidos disueltos, DBO e incrementa la conductividad de la solución.

#### **4.10 PROCESO PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

Se propone tratamientos físicos y químicos, no así un tratamiento biológico, por la razón de que las aguas residuales, no se mezclan con aguas sanitarias, las características físicas del efluente indica la inexistencia de vidas microbiológicas.

El proceso de tratamiento de aguas residuales de tintorería propuesta incluye los siguientes procesos físico-químicos los cuales, tienen el objeto de reducir los contaminantes a para metros permitidos por ley:

##### **4.10.1 Filtración**

Con el fin de eliminar las partículas sólidas y sólidos en suspensión y evitar así las posibles interferencias en el proceso, se filtra el agua residual mediante un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro. Este ensayo se realizó para averiguar si los sólidos en suspensión del efluente podrían interferir en el proceso de “Fenton”.

#### **4.10.2 Acidificación**

Para la neutralización del pH se emplea ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 10 (N) para ajustar el pH inicial a un valor de 2,7-3 debido a que en el pH mencionado se produce la reacción “Fenton”.

El ácido sulfúrico es una sustancia controlada, considerado un ácido fuerte que se disocia fácilmente en iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) e iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), donde los  $\text{H}^+$  le confieren el poder neutralizante, además es importante mencionar que es uno de los ácidos más utilizados para disminuir la alcalinidad del agua.

En el sector industrial se utiliza el ácido sulfúrico de tipo químicamente puro cuyo precio es más accesible, y se realiza el reporte mensual de consumo a la Dirección general de sustancias controladas.

#### **4.10.3 Reacción de oxidación**

Se dosifica las cantidades necesarias de los reactivos al efluente, al pH ajustado anteriormente, en función de las condiciones de operación establecidas de cada experimento a desarrollar. Los ensayos tuvieron una duración de entre 4 y 6 horas, extrayendo muestras cada hora, con el objetivo de la dosificación óptima.

#### **4.10.4 Neutralización**

Al finalizar el tratamiento de aguas, se ajustó el pH del efluente tratado a un valor próximo al valor anterior a la acidificación (pH 7,5) utilizando hidróxido de sodio (NaOH) o sosa concentrada 50% p/v. El hidróxido de sodio controla la acidez del agua, para el posterior tratamiento y ayuda a eliminar los metales pesados del agua de esta manera se provoca la precipitación del catalizador metálico añadido en el proceso y se deja decantar.

El hidróxido de sodio es una sustancia controlada que al igual que el ácido sulfúrico se presenta el reporte mensual de consumo a la Dirección general de sustancias controladas.

El motivo de la elección de sosa concentrada al 50% es debido a que en comparación con otros neutralizantes es el que menor cantidad de lodos genera, es decir el más eficiente.

#### **4.10.5 Coagulación**

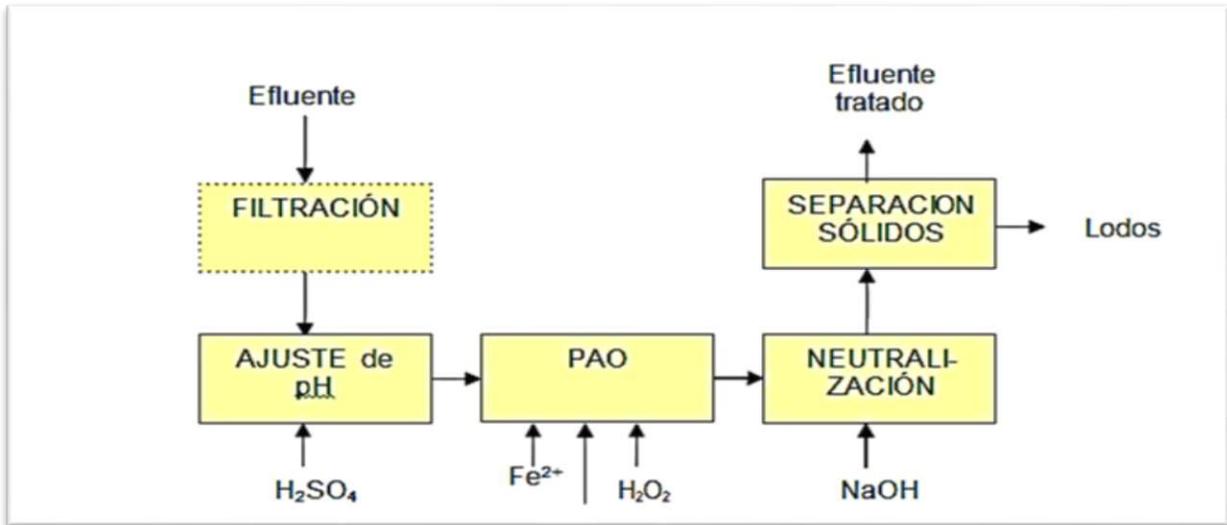
Después de la neutralización se pasó por el último proceso de coagulación para aglomerar a todas las partículas que precipitaron en la neutralización, para la última etapa de coagulación se añadió sulfato de aluminio heptahidratado en concentraciones que se determinó experimentalmente.

Cuando el pH del agua es débilmente ácido, neutro o débilmente alcalino (6-8), el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión, dejando el agua transparente. Esta propiedad es comúnmente usada en piscinas y para tratamiento de aguas. Con el fin de que el siguiente paso sea más sencillo de filtrar.

#### **4.10.6 Filtración**

Con el fin de eliminar las partículas sólidas y sólidos en suspensión que se formaron al neutralizar y coagular, se filtró el agua residual mediante un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro. Este ensayo se realizó para obtener un efluente que cumpla los estándares marcados por la ley del medio Ambiente.

**Esquema 7:** Esquema planteado del proceso “Fenton”



Fuente: (Jurado, 2009)

Una vez realizados todos los parámetros de control, los volúmenes de agua utilizados y las propiedades fisicoquímicas de los efluentes, se puede concluir lo siguiente:

Los efluentes procedentes de los procesos de transformación de producto terminado, pueden ser tratados y mitigados por procesos conocidos y adaptados para las condiciones de trabajo de la industria Altifibers S.A.

## 5. CAPITULO V: PARTE EXPERIMENTAL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

### 5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de este proyecto de investigación es experimental, porque se realizó la manipulación de las variables independientes para de esta forma poder determinar los cambios que se producen en la variable dependiente.

La variable dependiente no se manipula, sino que se mide para ver el efecto que la manipulación de la variable independiente tiene en ella.

#### 5.1.1 Variables operacionales

##### 5.1.1.1 Variable independiente.

- Proceso Fenton.

##### 5.1.1.2 Variable dependiente.

- Reducción del contenido de contaminantes en efluentes de la industria textil

#### 5.1.2 Operación de variables

Tabla 12: Operacion de variables

OPERACION DE VARIABLES		
VARIABLES INDEPENDIENTE: Proceso “Fenton”		
DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA
Como primer paso se realiza la caracterización fisicoquímica del efluente tomado como muestra. Para seguir mejorando la eficacia en este caso del proceso de oxidación se selecciona parámetros globales indicativos, como la turbidez y demanda química de oxígeno (DQO). La concentración inicial de peróxido de hidrógeno es la cantidad estequiometrica, con referencia la DQO de partida, El proceso se lleva a cabo en un medio acido, La concentración inicial de $Fe^{+2}$ empleada favorece la extensión de la reacción, ya que hay una mayor producción de radicales $HO\cdot$	<b>Cantidad de peróxido de hidrogeno</b>	mg/l
	<b>Dosis del oxidante</b>	<b>Cantidad de sulfato ferroso</b>
	<b>Dosis del catalizador</b>	

**VARIABLE DEPENDIENTE: Reducción del contenido de contaminantes en efluentes de la industria textil**

Para la eliminación de colorantes en efluentes textiles se realizó como primer paso la medición de los parámetros fisicoquímicos. Uno de los parámetros que requiere mayor esfuerzo para su eliminación y con costos razonables es el color. La variable que tiene mucha influencia en esta investigación es el pH, porque la oxidación se produce en medios ácido, es por eso que el pH debe mantenerse en el rango de 2.6 a 3, si el pH >3 el sulfato ferroso precipita a Fe+3 y no se llevara a cabo la oxidación avanzada que es la encargada de degradar los colorantes.

<b>Parámetros fisicoquímicos del efluente</b>	<b>del</b>	<b>Turbidez</b>	NTU
		<b>PH</b>	Acido/ basico
		<b>Conductividad</b>	us/cm2
<b>Reducción colorantes</b>	<b>de</b>	<b>Colorantes</b>	UC
		<b>DQO</b>	mg /l

**Fuente:** Elaboración propia basada en Jurado 2009

Diseño de factor completo 2<sup>k</sup>, con el objetivo de evaluar el efecto de las concentraciones de reactivos en el proceso “Fenton” para la degradación. Se aplica el diseño de composición central, que es uno de los más usados para estudiar las mejores cantidades de los reactivos en los diferentes ensayos.

**5.1.3 Diseño experimental de factor 2<sup>3</sup>**

La tecnología de degradación “Fenton” es un sistema multifactorial, en los ensayos se mantienen constantes todos los parámetros para centrarse en tres factores, la variación de la concentración de peróxido de hidrógeno, la variación de la concentración de sulfato de hierro II y la utilización o no de la luz como parámetros experimentales pre- establecidos destinadas a abordar el estudio de la influencia de los reactivos químicos.

**Tabla 13:** Definición de diseño factorial

<b>Factores</b>	<b>Nivel alto</b>	<b>Nivel bajo</b>
A: Concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	80	800
B: Concentración FeSO <sub>4</sub>	50	150
C: Rayos UV	SI	NO

**Fuente:** Elaboración propia

Desarrollo del diseño factorial

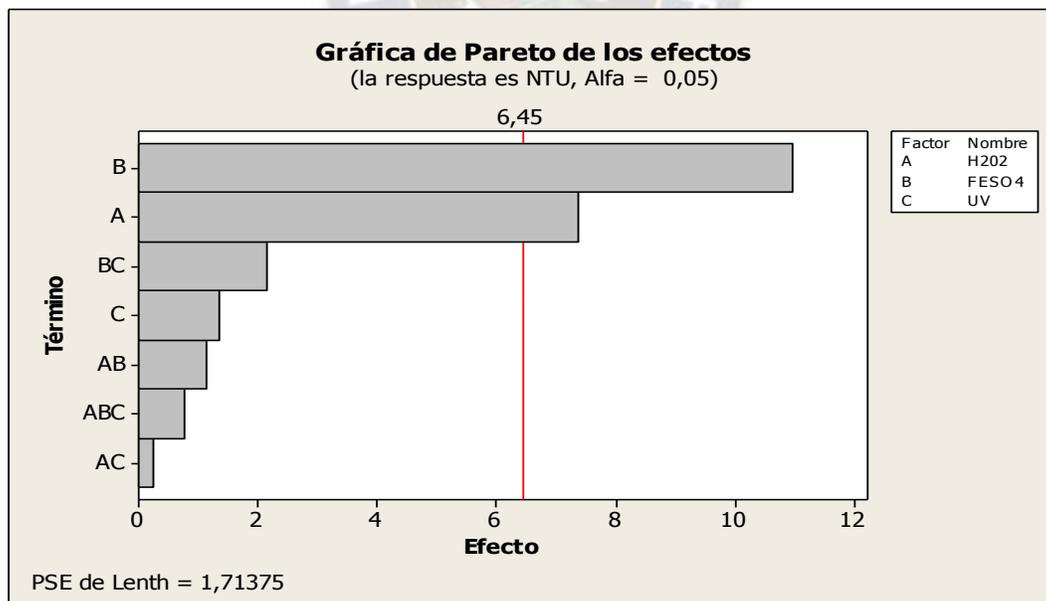
**Tabla 14:** Análisis de diseño factorial

Tratamientos	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	FeSO <sub>4</sub>	UV	NTU
1	80	150	NO	3,42
2	800	150	NO	0,94
3	800	50	NO	15
4	80	50	SI	19,5
5	800	150	SI	0,74
6	800	50	SI	8,9
7	80	150	SI	4,7
8	80	50	NO	20,5

**Fuente:** Elaboración propia

Con la ayuda del programa Minitab V.15 se pudo realizar el análisis del diseño experimental con las siguientes graficas:

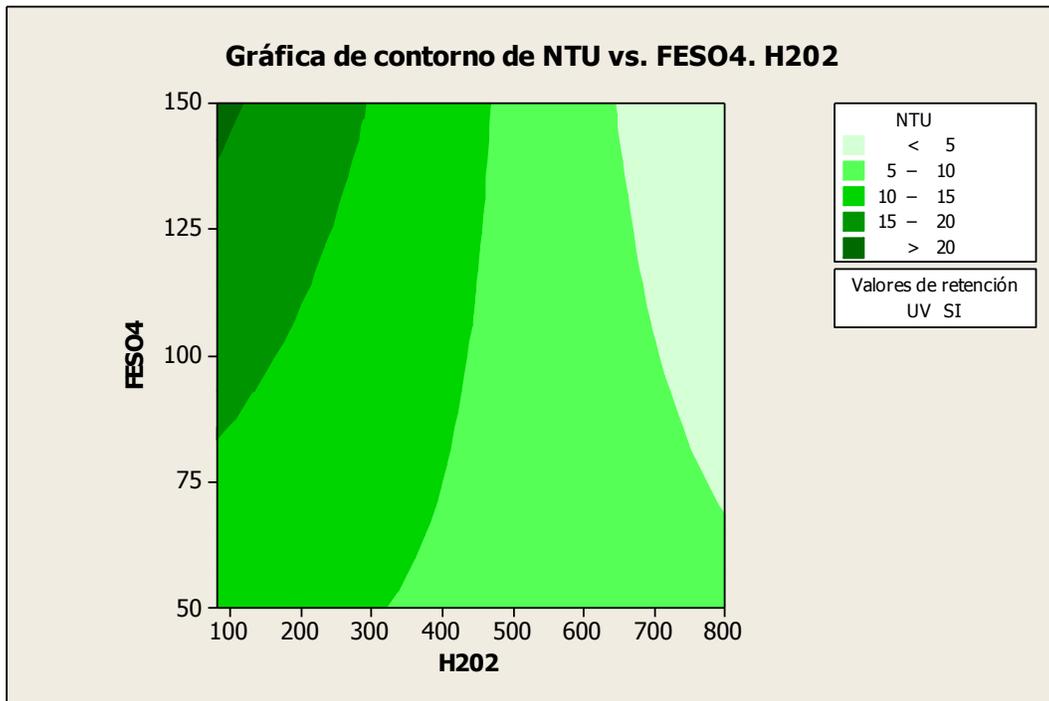
**Grafica 2:** Grafica de Pareto de los efectos



En la Gráfica 2 de Pareto se puede observar que los efectos principales del proceso es afectada por la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub> **Fuente:** Elaboración propia en Minitab V.15

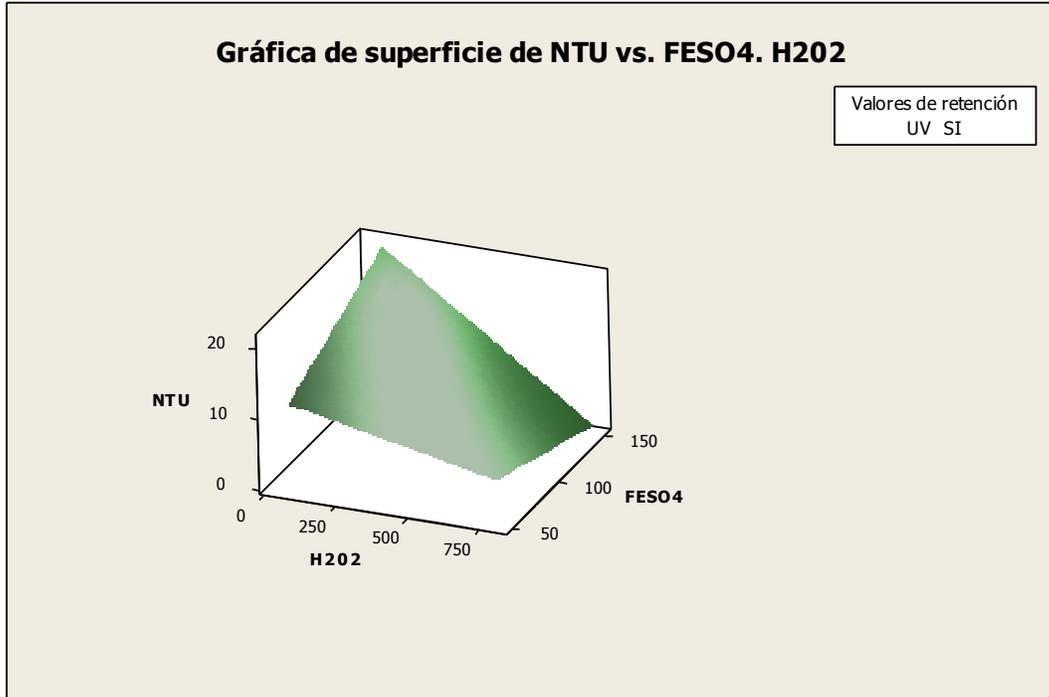
En la gráfica de Pareto nos muestra los efectos principales que van a influir en la hora de realizar los experimentos, que son la concentración de peróxido de hidrogeno y la concentración de sulfato de hierro.

**Grafica 3:** Grafica de Contorno de NTU vs  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$



En la Gráfica 3 de Contorno indica las cantidades de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{FeSO}_4$  aproximadas que se debe utilizar en el proceso Fuente: Elaboracion propia en Minitab V.15

**Grafica 4:** Grafica de Superficie de NTU vs  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$



La gráfica de superficie Grafica 4 nos muestra de forma tridimensional las proporciones ideales de reactivos que se debe aplicar en los experimentos **Fuente:** Elaboración propia en Minitab V.15

La grafica de contorno y la gráfica de superficie nos muestran las proporciones ideales de reactivos que se deberían aplicar en los experimentos para así obtener el grado de turbidez y DQO bajos.

## 5.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES

### 5.1.2 Procedimiento experimental

A continuación se describe el procedimiento experimental (ver Anexo B):

#### 5.1.2.1 Toma de muestra.

La muestra de agua residual procede de la empresa textil ALTIFIBERS S.A. del área de tintorería, donde se realiza el muestreo compuesto a la salida de cada máquina de teñido,

posterior a un proceso de 8 horas, antes de desembocar en la fosa central y ser vertido al alcantarillado.

Al terminar la toma de muestra se traslada desde la empresa a dependencias del instituto de investigación IDEPROQ.

**Figura 15:** FLYNOX 1, máquina donde se toma parte de las muestras

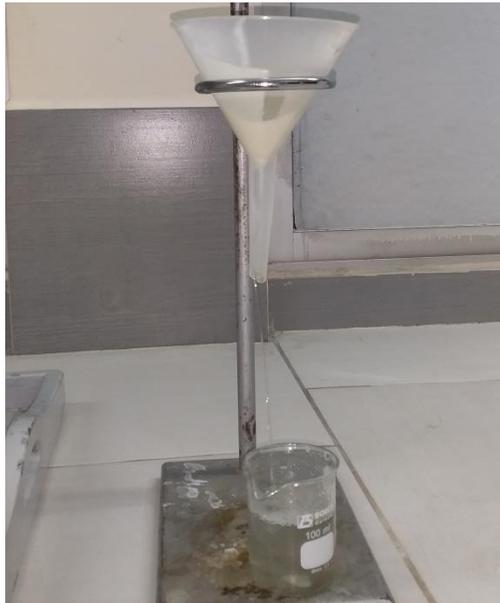


**Fuente:** Elaboración propia en base a predios de la Empresa Altifibers S.A.

### **5.1.2.2 Filtración.**

Con el fin de eliminar las partículas sólidas, sólidos en suspensión y evitar así las posibles interferencias, se procedió a utilizar un filtro de  $0,45 \mu\text{m}$  de tamaño de poro. Además que este ensayo de filtración se realizó para verificar la interferencia de los sólidos en suspensión en el proceso de “Fenton”.

**Figura 16:** Filtración de la muestra



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.2.3 Acidificación.

Se empleó ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 20[N] para ajustar el pH inicial a un valor de 2,7-3.

**Figura 17:** Medición de pH en sistema Fenton, después de acidificar



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.2.4 Reacción de oxidación.

Se dosificaron las cantidades necesarias de los reactivos al efluente en muestras de 100 ml en los vasos de precipitado, al pH ajustado anteriormente, en función de las condiciones de operación establecidas de cada experimento a desarrollar.

Se realiza ensayos en los diferentes reactores para obtener la dosificación óptima, observando que los ensayos tuvieron una duración de entre 5 y 6 horas, extrayendo muestra cada hora. El volumen de la muestra extraída para su caracterización fue de 50 mL.

**Figura 18:** Prueba de la dosis optima, dejando reaccionar



Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.2.5 Neutralización.

Se ajustó el pH del efluente tratado a un valor próximo al valor anterior a la acidificación (pH 7,5) utilizando hidróxido de sodio (NaOH) 50% p/v. De esta manera se provoca la precipitación del catalizador metálico añadido en el proceso.

**Figura 19:** Medición del pH, mientras se neutraliza la muestra



Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.2.6 Coagulación y decantación.

Finalizado el tratamiento, para mejorar el proceso de oxidación avanzada “Fenton” se utilizó el coagulante sulfato de aluminio heptahidratado para que de esta manera se provoque la coagulación del catalizador metálico añadido en el proceso y así poder realizar un tratamiento efectivo.

**Figura 19:** Prueba de coagulación en las muestras



Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 Métodos de análisis fisicoquímicos

#### 5.1.3.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para medir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) primero adicionar en un matraz Erlenmeyer 1 ml de la muestra, con 50 ml de agua destilada y si el agua contiene nitritos, sulfuros, ión ferroso o cualquier otra sustancia mineral reductora del permanganato, se debe efectuar una corrección con sulfato de plata, seguidamente añadir 10ml de ácido sulfúrico 6N y 10 ml de la solución de  $\text{KMnO}_4$  0,0125 N, toda la mezcla se calienta en un baño maría durante 30 minutos.

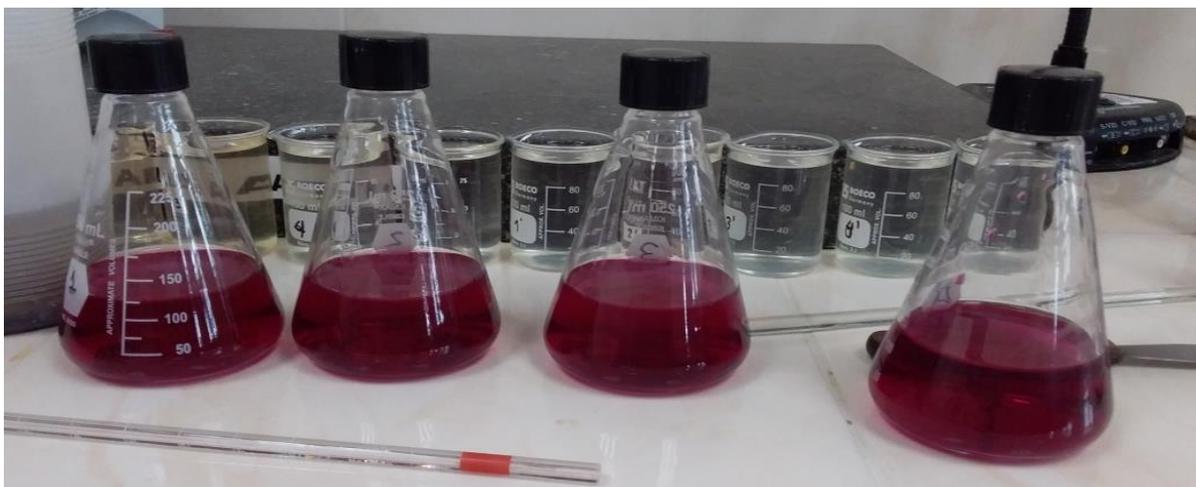
Para obtener resultados comparables es imprescindible seguir en forma rigurosa la técnica analítica empleando siempre las mismas cantidades de reactivos y efectuando el calentamiento en idénticas condiciones.

La solución de  $\text{KMnO}_4$  empleada es 0,0125 N, esto tiene por finalidad facilitar los cálculos, 1 ml de la misma equivale a 0.1 mg de  $\text{O}_2$ .

En esencia es una determinación por retorno, el permanganato de potasio, que no reaccionó con la materia orgánica, se reduce por el agregado de un volumen conocido de ácido oxálico de la misma normalidad del permanganato y el exceso de aquel se titula con  $\text{KMnO}_4$  0.0125N.

Esta titulación se debe realizar a una temperatura de 60-80°C.

**Figura 20:** Prueba de la DQO mediante el método del permanganato en laboratorio



Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3.2 Determinación del pH y conductividad

La medida de pH se realizó con un pH-metro HANNA equipado con un electrodo específico, calibrado respectivamente, para realizar la medición de la conductividad y el pH de la solución.

La medida de conductividad se realizó con el mismo equipo pH -metro HANNA en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En la siguiente figura (Figura 23) se muestra una fotografía del equipo empleado en la determinación del pH y conductividad:

**Figura 21:** Equipo pH-metro HANNA



**Fuente:** Elaboración propia

### **5.1.3.3 Determinación de la turbidez.**

La turbidez se mide por el método nefelométrico, mediante un turbidímetro HANNA, respetándose las instrucciones de calibrado y medición indicadas por el fabricante del equipo. Se calibra con las soluciones patrón (desarrolladas especialmente para este equipo)

El método se fundamenta por la relación que existe entre la luz difusa y la luz incidente o entre la luz difusa y la luz transmitida a través de la muestra. Cuando una muestra de agua incide un rayo luminoso, las partículas en suspensión difractan parte de la luz que penetra en la muestra. La luz que se difracta se recoge sobre una célula fotoeléctrica, y origina una corriente eléctrica que es función de su intensidad y por tanto del grado de turbidez de la muestra.

En la siguiente Figura 18 se muestra una fotografía del equipo empleado en la determinación de la turbidez:

**Figura 22:** Equipo turbidímetro HANNA



**Fuente:** Elaboración propia

#### **5.1.3.4 Determinación de Sólidos Totales**

La determinación del contenido de sólidos totales se basa en la evaporación total de una muestra de agua de volumen conocido.

Para la medida de sólidos totales se calentó un crisol limpio a 105°C, durante una hora, elegimos el volumen de muestra conocido en nuestro caso 10 ml, transferimos el volumen medido de muestra, bien mezclado a el crisol previamente pesado y evaporamos hasta que se seque en un horno de secado durante 24 horas, después sacamos la muestra evaporada, enfriamos el crisol en un desecador para equilibrar la temperatura y pesamos en una balanza analítica.

**Figura 23:** Equipo secadora LAB DRYER



**Fuente:** Elaboración propia



## **6. CAPITULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS DE LA INVESTIGACION**

El proceso de “Fenton” es el proceso de oxidación avanzada seleccionado para el tratamiento del efluente de la industria textil Altifibers S.A. de acuerdo con la bibliografía consultada.

En dicho proceso, las dosis de hierro y peróxido de hidrógeno son las dos variables de operación más importantes, y determinan la eficacia

Realizando el seguimiento correspondiente al diseño de experimentación planteado, se procede a la exposición y análisis de los resultados obtenidos a partir del manejo de la concentración de los reactivos, aplicados a las muestras de aguas residuales procedentes de la fase de teñido de la empresa textil.

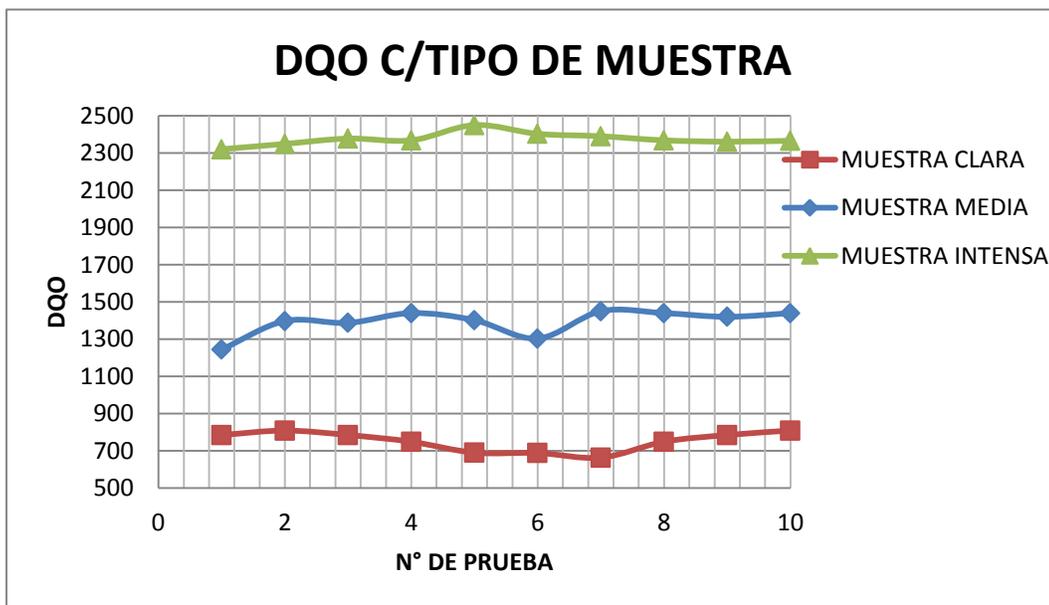
### **6.1 PRIMERA ETAPA EN LABORATORIO**

#### **6.1.1 Caracterización fisicoquímica**

La primera etapa en laboratorio comienza con la caracterización fisicoquímica de las muestras de agua residual de tipo claras, medias e intensas como se muestra en el capítulo 3, con el objetivo de obtener el valor de la demanda química de oxígeno DQO de cada tipo de muestra

Se procede a realizar pruebas experimentales verificando que en cada tipo de muestra los resultados no presentaban variaciones significativas (Ver Anexo C), logrando determinar el DQO para cada tipo de muestra.

**Grafica 5:** Determinación de la DQO para cada tipo de muestra



Seguimiento de la Medición de la DQO, con esta grafica se comprueba que los efluentes de los tres tipos de muestra que se clasifica en capítulos anteriores, no varían de gran manera su comportamiento. **Fuente:** Elaboración propia

**Figura 24:** Diferentes tipos de muestra



**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente tabla se puede observar el resumen de resultados de las pruebas experimentales de los diferentes tipos de muestra, con los parámetros medidos y utilizados en laboratorio.

**Tabla 15:** Resultados caracterización fisicoquímica de cada tipo de muestra

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA			LIMITE PERMISIBLES
		CLARA	MEDIA	INTENSA	
DQO	mg/l	785	1440	2360	<b>250</b>
TURBIDEZ	NTU	3,9	15,8	36,21	<b>2</b>
PH	-	7,4	8,99	10,03	<b>6,9</b>
ST	mg/l	1449	2007	3635	<b>60</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 15 se puede observar el resultado de las pruebas experimentales de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de cada tipo de efluente, comparadas con los límites permisibles de descargas líquidas del reglamento en materia de contaminación Hídrica de la ley 1333 de la normativa ambiental del Estado Plurinacional de Bolivia, a excepción del parámetro de turbidez que no se encuentra en dicho reglamento y se tuvo que acceder a normas internacionales de descargas líquidas de datos bibliográficos.

Claramente se puede observar que existe una diferencia muy alta entre los parámetros medidos en laboratorio y los parámetros permisibles, que sobrepasan de gran manera, lo cual ya descrito en anteriores capítulos es una de las problemáticas de la investigación.

## 6.2 SEGUNDA ETAPA EN LABORATORIO

### 6.2.1 Selección de la dosis óptima

Como se ha comprobado con el diseño experimental, las dos variables de mayor importancia en el proceso “Fenton” son la dosis de Fe(II) y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, por lo que se ha de seleccionar la dosis óptima de ambos para que el sistema sea eficaz.

En el presente estudio para determinar la dosis molar óptima del reactivo “Fenton” en función del cambio de turbidez y reducción de la DQO, se basan en cálculos estequiométricos tomando en cuenta los DQO de la tabla 15. Según el diseño experimental desarrollado para el presente trabajo, se propone una sucesión en cadena de experimentos que tiene como propósito la evaluación de las condiciones óptimas del tratamiento.

Para el cálculo estequiométrico del volumen de  $H_2O_2$  a adicionar al medio de reacción es necesario determinar el DQO inicial del agua contaminada

#### **6.2.1.1 Efecto de la concentración inicial de hierro.**

La cantidad de catalizador es una variable con especial influencia sobre la cinética del proceso. Al igual que en el caso del peróxido de hidrógeno, existe una concentración óptima de hierro que debe ser determinada con el fin de obtener la máxima eficacia con el menor consumo posible de reactivos. Además, la cantidad de hierro empleada también afecta al volumen de lodos finales generados.

##### 6.2.1.1.1 Muestra clara

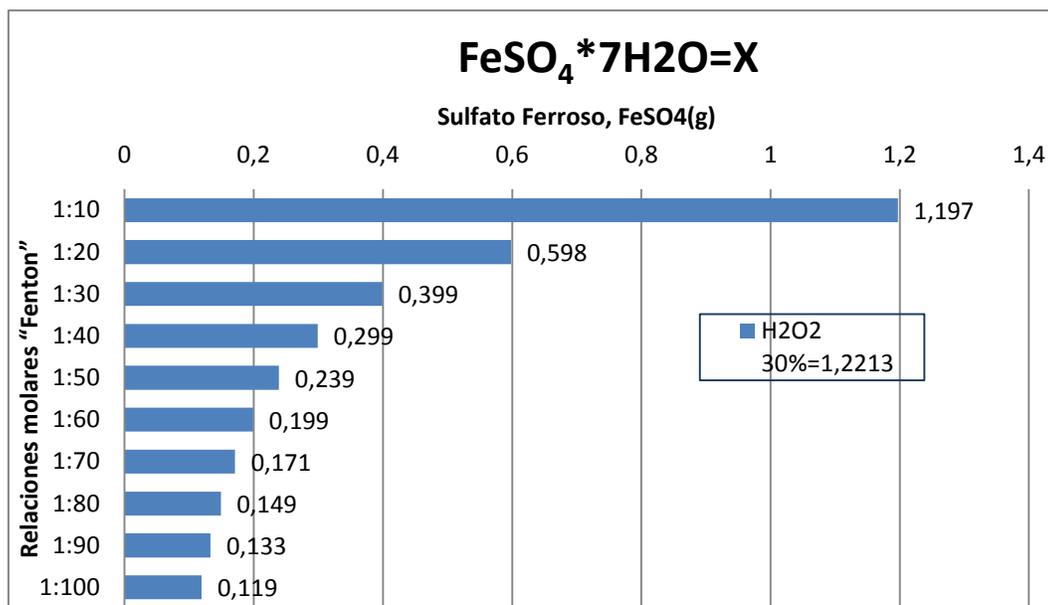
Según la caracterización del agua residual, el DQO inicial tuvo un valor de 785 mg./L en tipo de muestra clara. A partir de este dato de la DQO, se obtiene que aproximadamente por cada litro de agua residual se adicione 12,174 ml de peróxido de hidrógeno al 30%<sup>37</sup>. Las unidades experimentales en el presente proyecto fueron de 100 mL; por tanto, se adicionaron 1,22 mL de peróxido de hidrógeno al 30% por cada unidad experimental. La dosificación de sulfato ferroso

---

<sup>37</sup> Martínez, O. P. (2008). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu mediante procesos de oxidación avanzada*. Lima- Peru.

heptahidratado fue calculada en un rango molar  $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$  de 1:10 a 1:100 realizándose de esta manera para cada tipo de muestra.

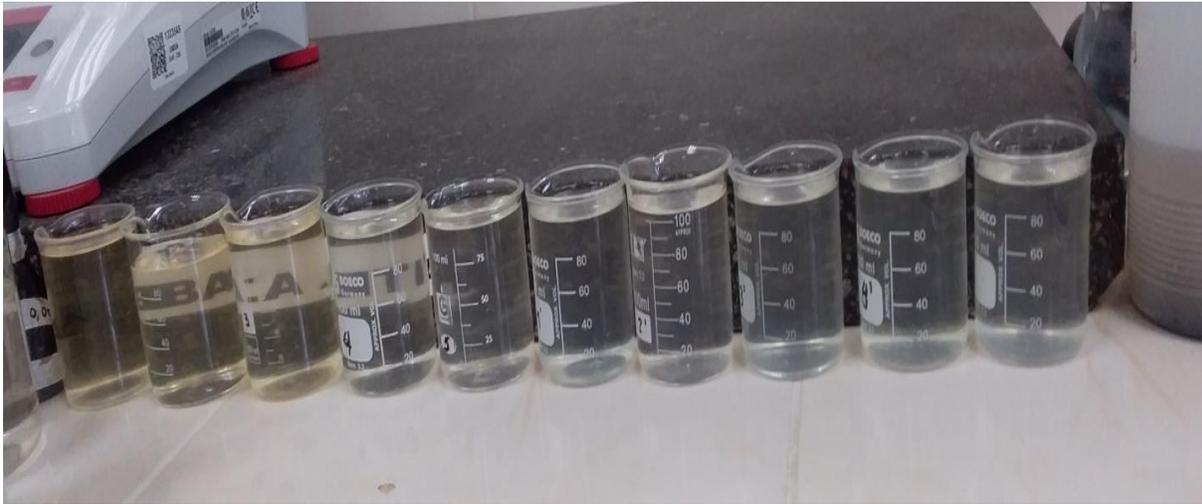
**Grafica 6:** Dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Clara



En la Grafica 6 se observa las dosis másicas de sulfato de hierro (II) a adicionarse para cada relación molar para muestra clara. **Fuente:** Elaboración propia

En la optimización se combinaron las variables independientes y se prosigue a experimentar con dosis molares entre 1:10 a 1:100 para los diferentes tipos de muestra, (Grafica 6).

**Figura 25:** Pruebas experimentales dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Clara



**Fuente:** Elaboración propia

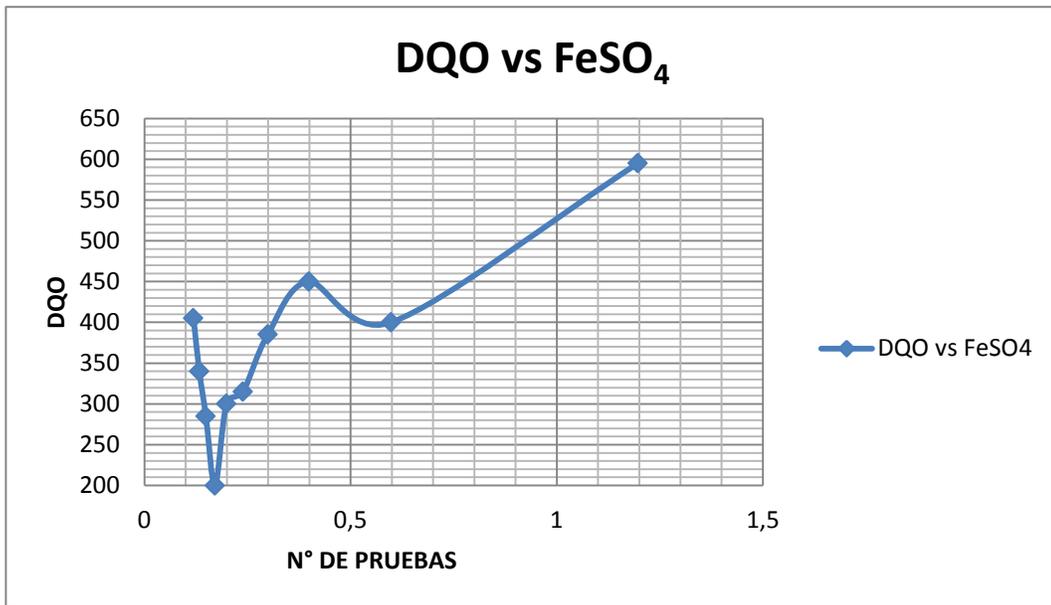
En las siguientes tablas y graficas se puede observar las condiciones de operación y los resultados de los experimentos

**Tabla 16:** Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra clara mediante pruebas experimentales

<b>Efecto de la concentración Fe(II) - Muestra clara</b>					
<b>N° PRUEBA</b>	<b>RELACION MOLAR</b>	<b>DOSIS "FENTON"</b>		<b>DQO (mg/l)</b>	<b>FINAL</b>
		<b>FeSO<sub>4</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>		<b>TURBIDEZ (NTU)</b>
C1	1:10	<b>1,197</b>	1,22	<b>595</b>	4,32
C2	1:20	<b>0,598</b>	1,22	<b>400</b>	3,21
C3	1:30	<b>0,399</b>	1,22	<b>450</b>	2,1
C4	1:40	<b>0,299</b>	1,22	<b>385</b>	2,45
C5	1:50	<b>0,239</b>	1,22	<b>315</b>	1,86
C6	1:60	<b>0,199</b>	1,22	<b>300</b>	1,08
C7	1:70	<b>0,171</b>	1,22	<b>200</b>	0,91
C8	1:80	<b>0,149</b>	1,22	<b>285</b>	1,96
C9	1:90	<b>0,133</b>	1,22	<b>340</b>	3,01
C10	1:100	<b>0,119</b>	1,22	<b>405</b>	4,06

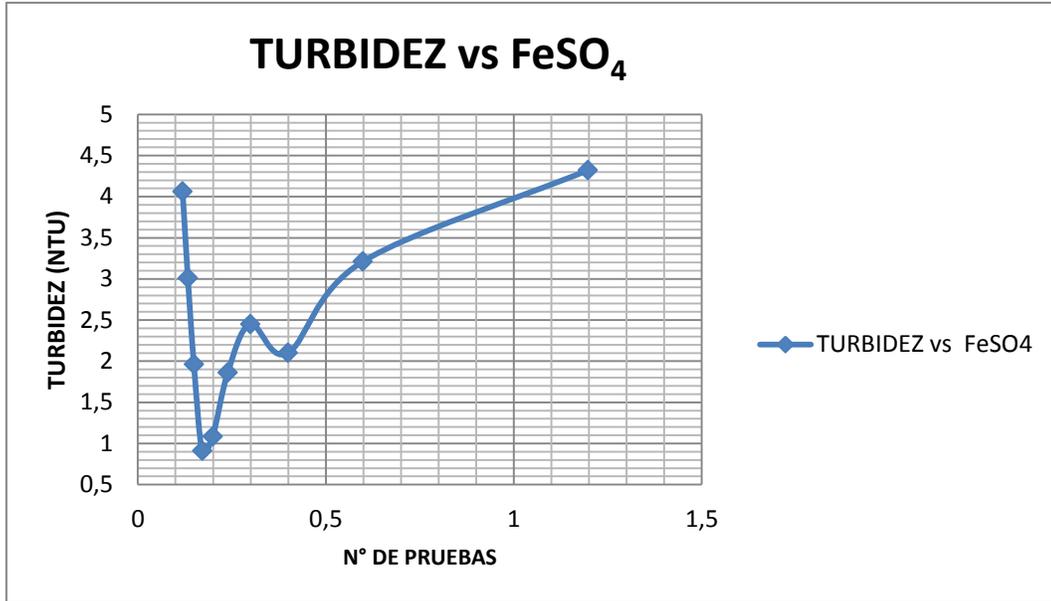
**Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 7:** Grafica DQO vs  $\text{FeSO}_4$  Efecto de la concentración  $\text{Fe(II)}$  en tipo de Muestra clara



En la Grafica 7 se observa el comportamiento de la DQO para las 10 pruebas de diferentes cantidades de  $\text{FeSO}_4$  para muestra clara. **Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 8:** Grafica Turbidez vs FeSO<sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra clara

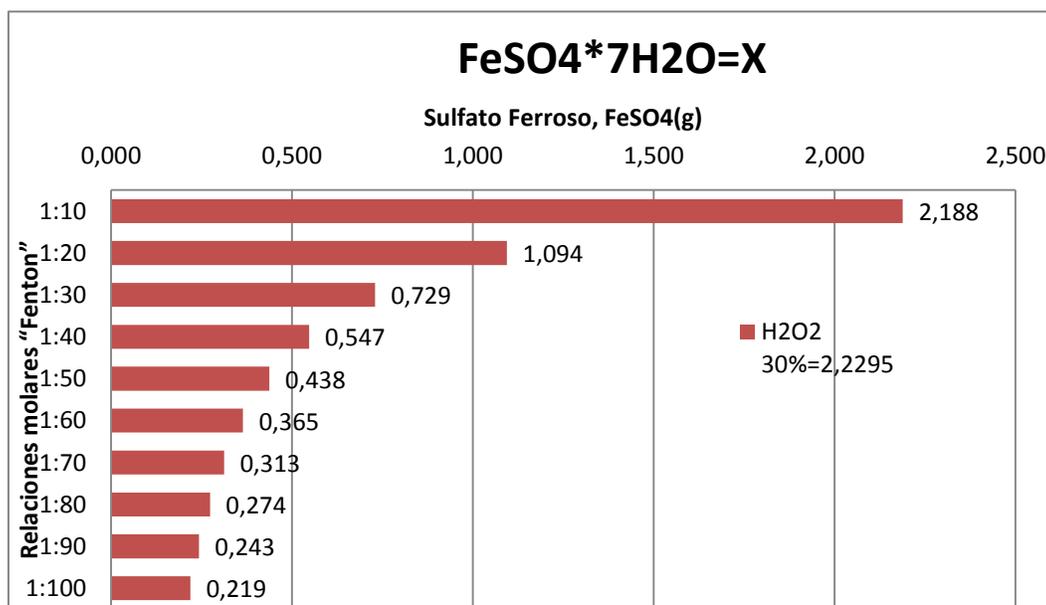


En la Grafica 8 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 10 pruebas de diferentes cantidades de FeSO<sub>4</sub> para muestra clara. **Fuente:** Elaboración propia

#### 6.2.1.1.2 Muestra media

En el caso de tipo de muestra media según la caracterización del agua residual, el DQO inicial tuvo un valor de 1440 mg.L por tanto, se adicionaron 2,23 ml de peróxido de hidrógeno al 30% por cada unidad experimental de 100 ml. La dosificación de sulfato ferroso heptahidratado es calculada en un rango molar Fe<sup>+2</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 1:10 a 1:100. En la Grafica 9 se observan las dosis másicas de sulfato de hierro (II) a adicionarse para cada relación molar.

**Grafica 9:** Dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Media



En la Grafica 6 se observa las dosis másicas de sulfato de hierro (II) a adicionarse para cada relación molar para muestra Media. **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 17:** Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra media mediante pruebas experimentales

MUESTRA MEDIA						
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	DOSIS "FENTON"		DQO (mg/l)	FINAL	
		FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		TURBIDEZ (NTU)	
M1	1:10	2,188	2,23	<b>500</b>		9,46
M2	1:20	1,094	2,23	<b>390</b>		8,74
M3	1:30	0,729	2,23	<b>385</b>		5,63
M4	1:40	0,547	2,23	<b>395</b>		4,11
M5	1:50	0,438	2,23	<b>420</b>		3,34
M6	1:60	0,365	2,23	<b>320</b>		7,56
M7	1:70	0,313	2,23	<b>390</b>		3,22
M8	1:80	0,274	2,23	<b>310</b>		2,20
M9	1:90	0,243	2,23	<b>455</b>		3,76
M10	1:100	0,219	2,23	<b>530</b>		6,98

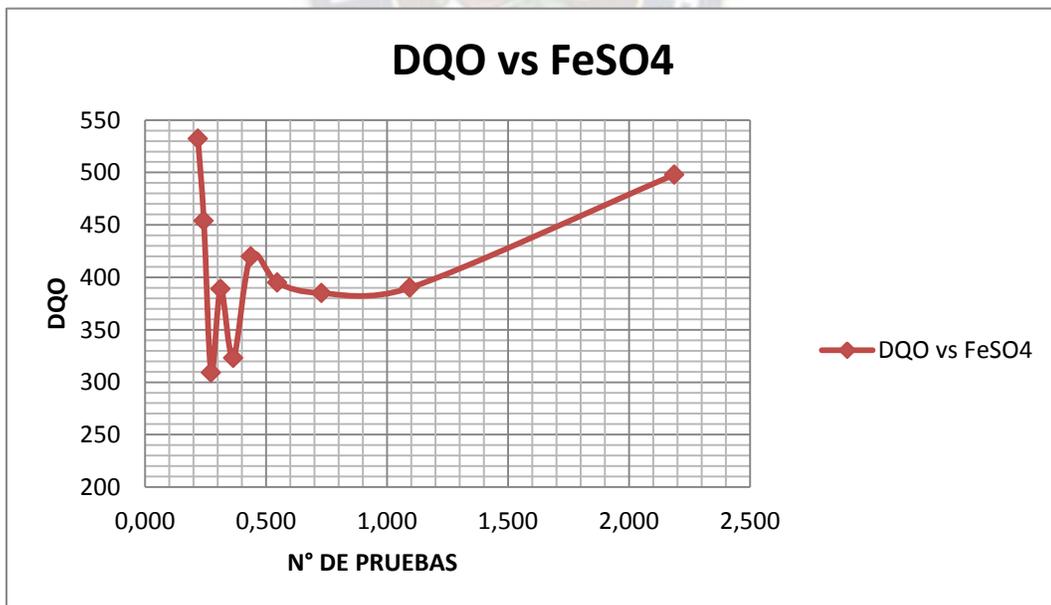
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 26:** Pruebas experimentales dosis másica del sulfato ferroso para Muestra Media



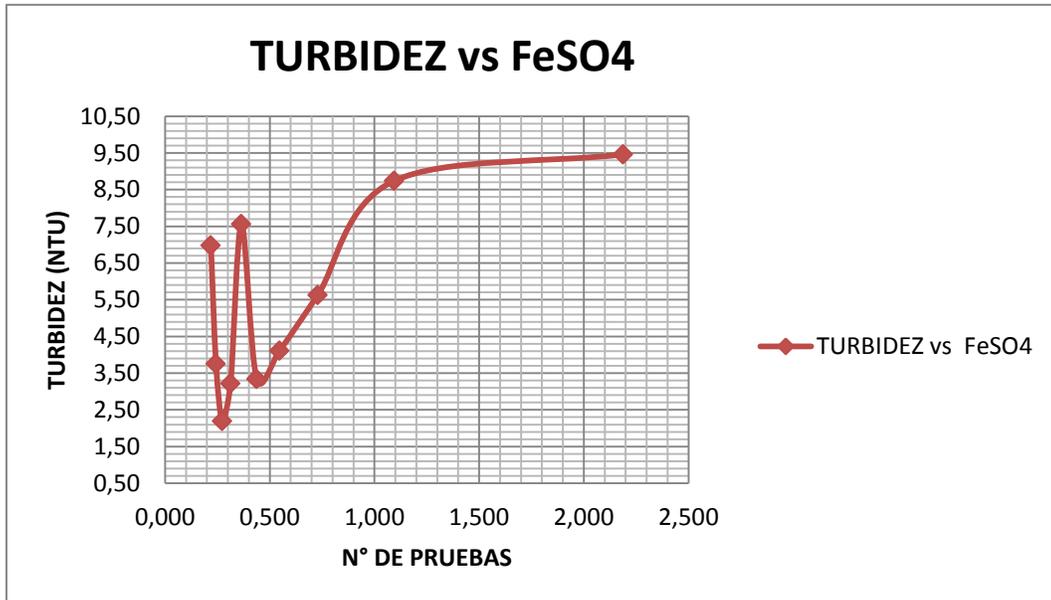
**Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 10:** Grafica DQO vs  $\text{FeSO}_4$ , Efecto de la concentración  $\text{Fe(II)}$  en tipo de Muestra Media



En la Grafica 10 se observa el comportamiento de la DQO para las 10 pruebas de diferentes cantidades de  $\text{FeSO}_4$  para muestra Media. **Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 11:** Grafica Turbidez vs FeSO<sub>4</sub>, Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Media

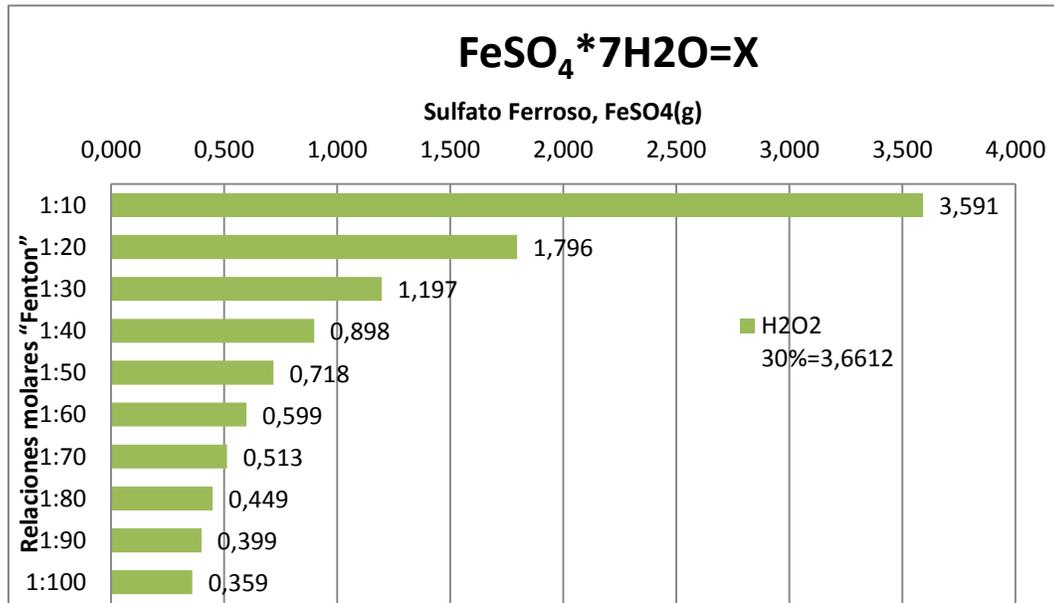


En la Grafica 11 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 10 pruebas de diferentes cantidades de FeSO<sub>4</sub> para muestra Media. **Fuente:** Elaboración propia

#### 6.2.1.1.3 Muestra intensa

En el caso de tipo de muestra Intensa según la caracterización del agua residual, el DQO inicial tuvo un valor de 2368 mg.L por tanto, se adicionaron 3,66 mL de peróxido de hidrógeno al 30% por cada unidad experimental de 100 ml. La dosificación de sulfato ferroso heptahidratado fue calculada en un rango molar Fe<sup>+2</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 1:10 a 1:100. En la Grafica 12 se observan las dosis másicas de sulfato de hierro (II) a adicionarse por cada relación molar.

**Grafica 12:** Dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Intensa



En la Grafica 12 se observa las dosis másicas de sulfato de hierro (II) a adicionarse por cada relación molar para muestra intensa. **Fuente:** Elaboración propia

**Figura 27:** Pruebas experimentales dosis másica del Sulfato ferroso para Muestra Intensa



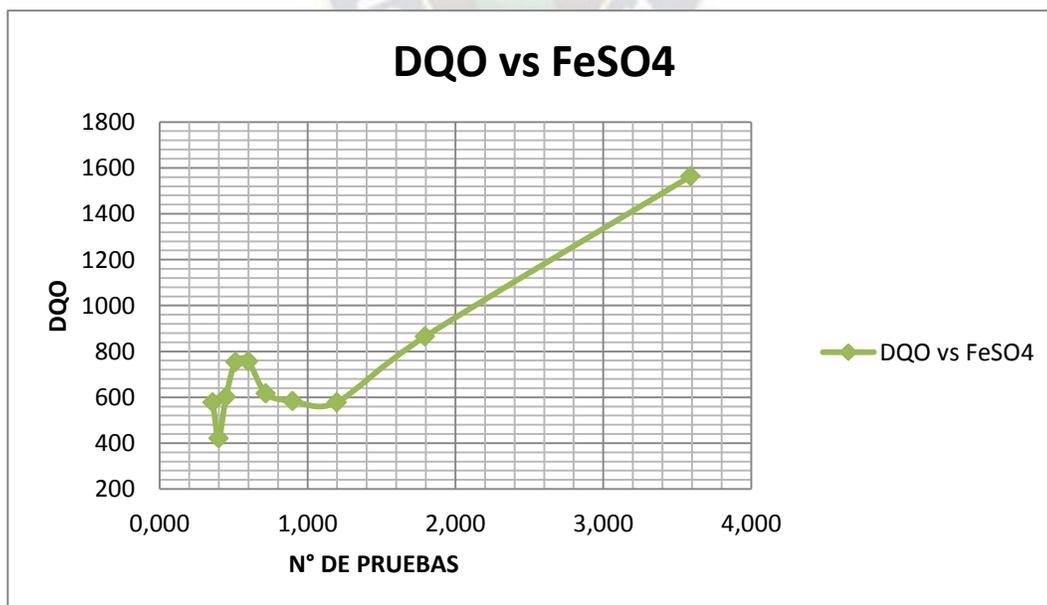
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 18:** Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Intensa mediante pruebas experimentales

MUESTRA INTENSA						
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	DOSIS "FENTON"		DQO (mg/l)	FINAL	
		FeSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		TURBIDEZ (NTU)	
I1	1:10	3,591	3,66	<b>1565</b>		22,30
I2	1:20	1,796	3,66	<b>865</b>		14,65
I3	1:30	1,197	3,66	<b>580</b>		7,00
I4	1:40	0,898	3,66	<b>585</b>		7,65
I5	1:50	0,718	3,66	<b>620</b>		8,00
I6	1:60	0,599	3,66	<b>755</b>		8,55
I7	1:70	0,513	3,66	<b>755</b>		9,43
I8	1:80	0,449	3,66	<b>600</b>		7,70
I9	1:90	0,399	3,66	<b>420</b>		4,80
I10	1:100	0,359	3,66	<b>580</b>		5,29

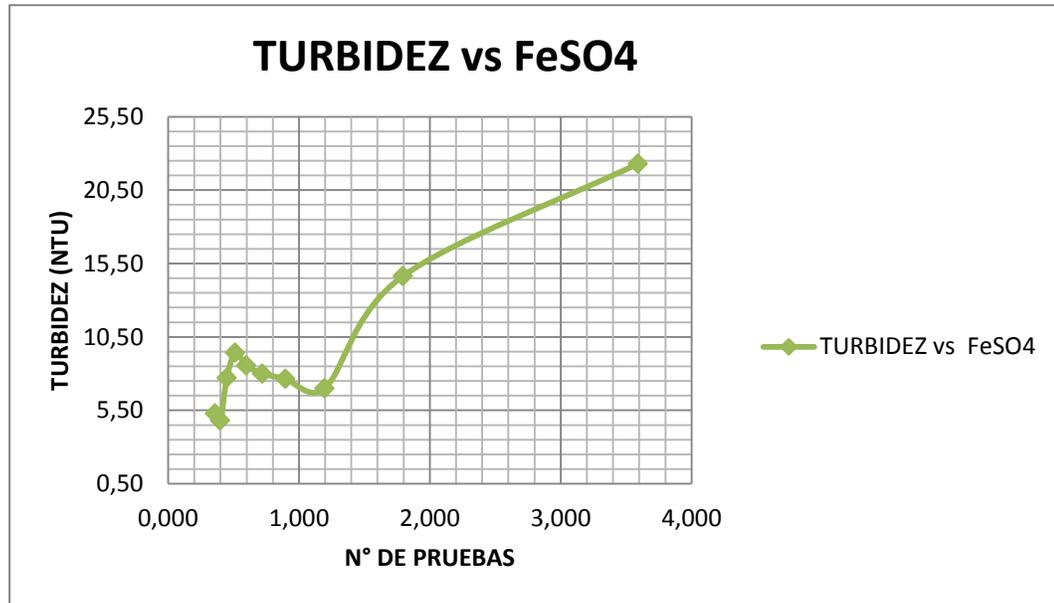
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 13:** Grafica DQO vs FeSO<sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Intensa



En la Grafica 13 se observa el comportamiento de la DQO para las 10 pruebas de diferentes cantidades de FeSO<sub>4</sub> para muestra Intensa. Fuente: Elaboración propia

**Grafica 14:** Grafica Turbidez vs FeSO<sub>4</sub> Efecto de la concentración Fe(II) en tipo de Muestra Intensa



En la Grafica 14 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 10 pruebas de diferentes cantidades de FeSO<sub>4</sub> para muestra Intensa. **Fuente:** Elaboración propia

El efecto de varias relaciones iniciales, expresadas como relación molar de Fe<sup>+2</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (experimentos C1 – C10 en muestras claras, M1 – M10 en muestras medias, I1 – I10 en muestras intensas). La reducción de DQO aumentó con el incremento de la dosis de hierro, hasta un cierto valor a partir del cual el incremento de la concentración de catalizador se mostró ineficaz, permaneciendo el porcentaje de eliminación menor, el mismo comportamiento se repitió con los diferentes tipos de muestra. La máxima reducción de DQO fue del 78 % y la etapa de coagulación mejoró este porcentaje, hasta un valor próximo al 80 % en las pruebas realizadas.

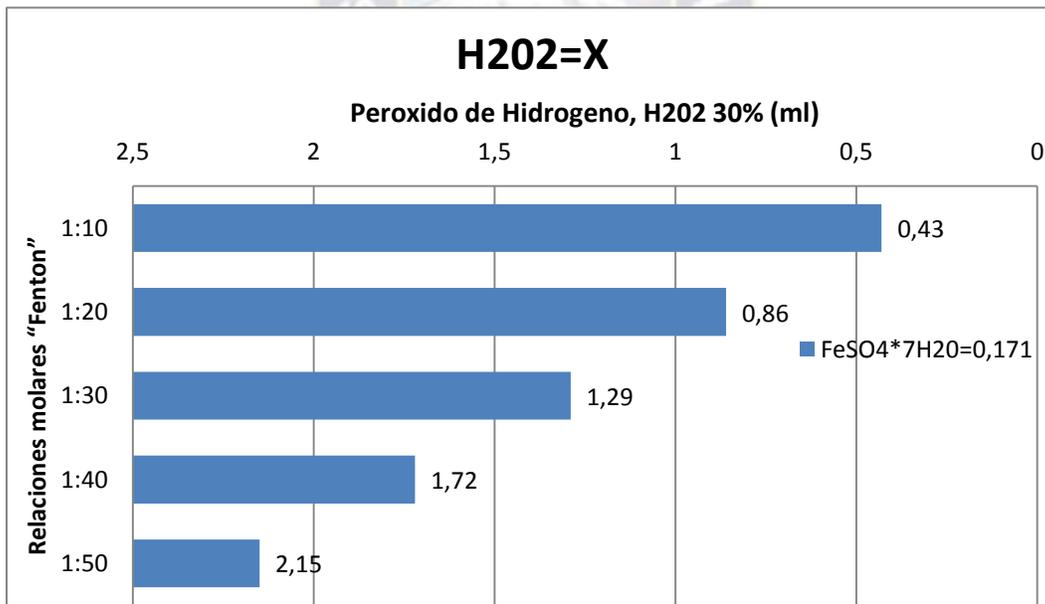
### 6.2.1.2 Efecto de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno

La cantidad de agente oxidante es una variable determinante en la eficacia del proceso. Como ya se explicó anteriormente, se debe prestar especial atención en la determinación de la dosis

óptima de peróxido de hidrógeno, ya que la presencia de peróxido en altas concentraciones provoca su reacción con los radicales hidroxilo formados, disminuyendo la concentración de radicales disponibles en el medio de reacción; además de los inconvenientes desde un punto de vista económico, dado el coste del reactivo. Con el fin de estudiar la influencia de la dosis de peróxido y determinar la concentración óptima para el tratamiento, se investigaron cinco diferentes concentraciones iniciales de peróxido de hidrógeno, expresadas como la relación molar de  $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$ . Las siguientes graficas muestran la influencia de esta variable en la reducción final de DQO y turbidez.

#### 6.2.1.2.1 Muestra clara

**Grafica 15:** Dosis másica del peróxido de hidrogeno para Muestra Clara



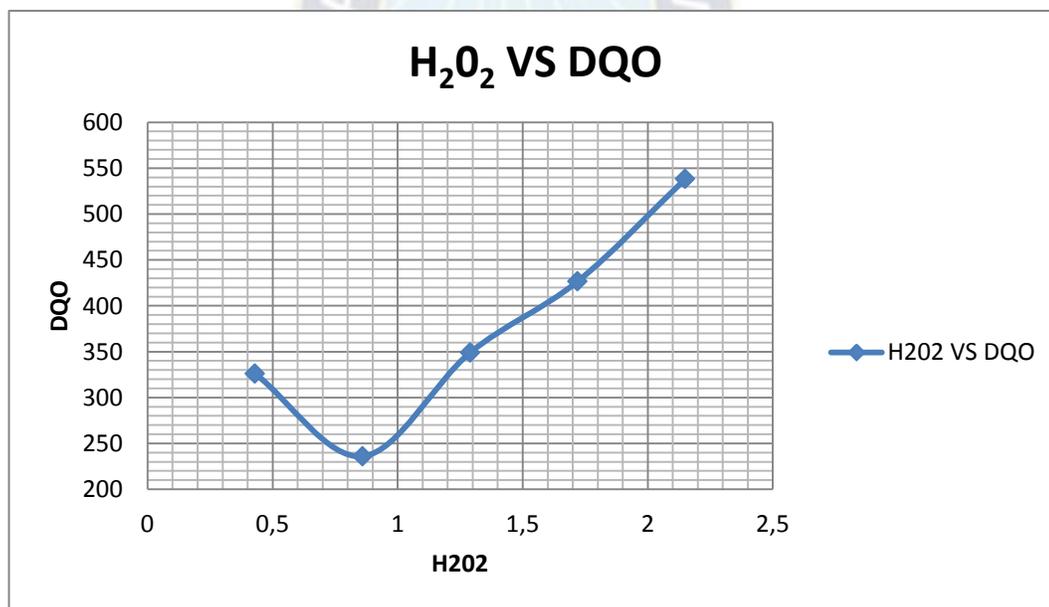
En la Grafica 15 se observa las dosis másicas del peróxido de Hidrogeno 30% v/v a adicionarse por cada relación molar para muestra Clara. Con un  $\text{FeSO}_4$  constante y óptimo ya obtenido en anterior análisis **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 19:** Efecto de la concentración  $H_2O_2$  en tipo de Muestra Clara mediante pruebas experimentales

EFECTO DE LA CONCENTRACION $H_2O_2$ - MUESTRA CLARA						
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	DOSIS "FENTON"		DQO (mg/l)	FINAL	
		FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		TURBIDEZ (NTU)	
C11	1:10	0,171	0,43	<b>325</b>		3,18
C12	1:20	0,171	0,86	<b>235</b>		0,73
C13	1:30	0,171	1,29	<b>350</b>		2,48
C14	1:40	0,171	1,72	<b>425</b>		3,25
C15	1:50	0,171	2,15	<b>540</b>		3,87

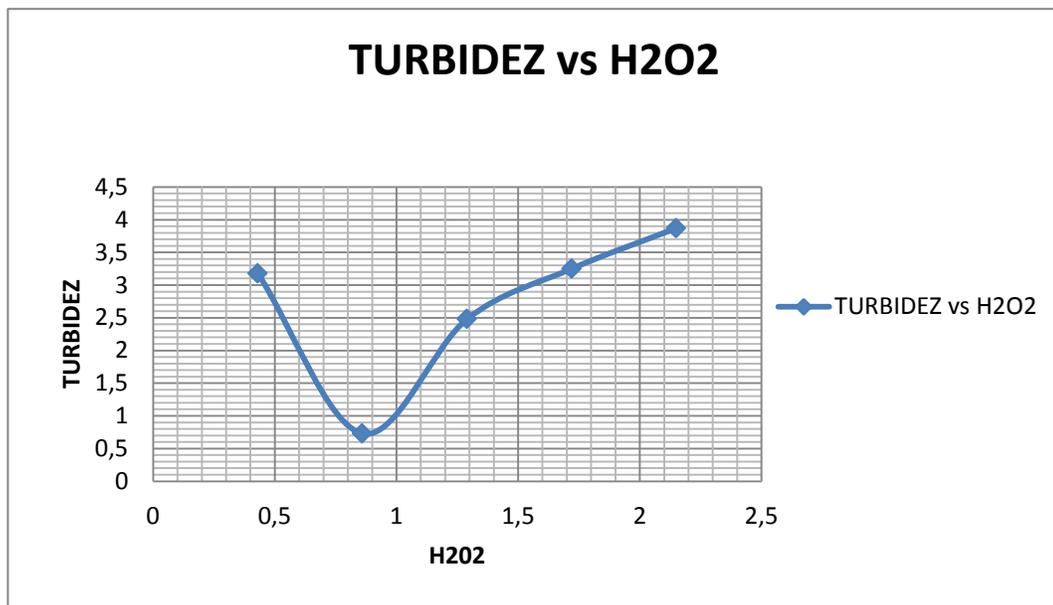
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 16:** Grafica DQO vs  $H_2O_2$  Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Clara



En la Grafica 16 se observa el comportamiento de la DQO para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $H_2O_2$  para muestra Clara, de donde la dosis optima de peróxido de hidrogeno que se obtenga, será la que más eficiencia en remosion de cantidad de la DQO represente **Fuente:** Elaboración propia

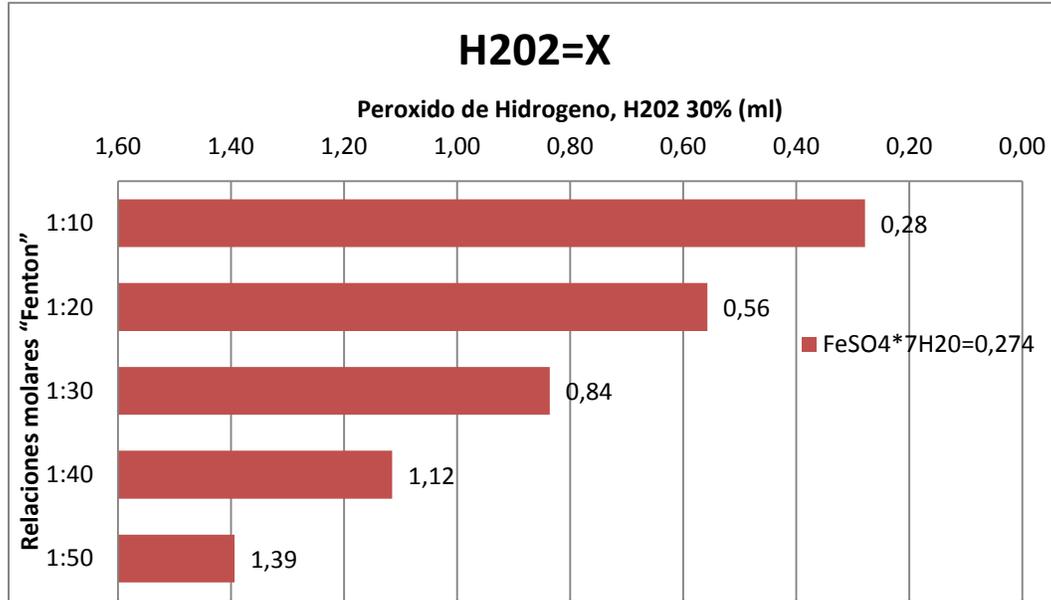
**Grafica 17:** Grafica Turbidez vs H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Clara



En la Grafica 17 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 5 pruebas de diferentes cantidades de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en muestra Clara. **Fuente:** Elaboración propia

6.2.1.2.2 Muestra media

**Grafica 18:** Dosis másica del peróxido de hidrogeno para Muestra Media



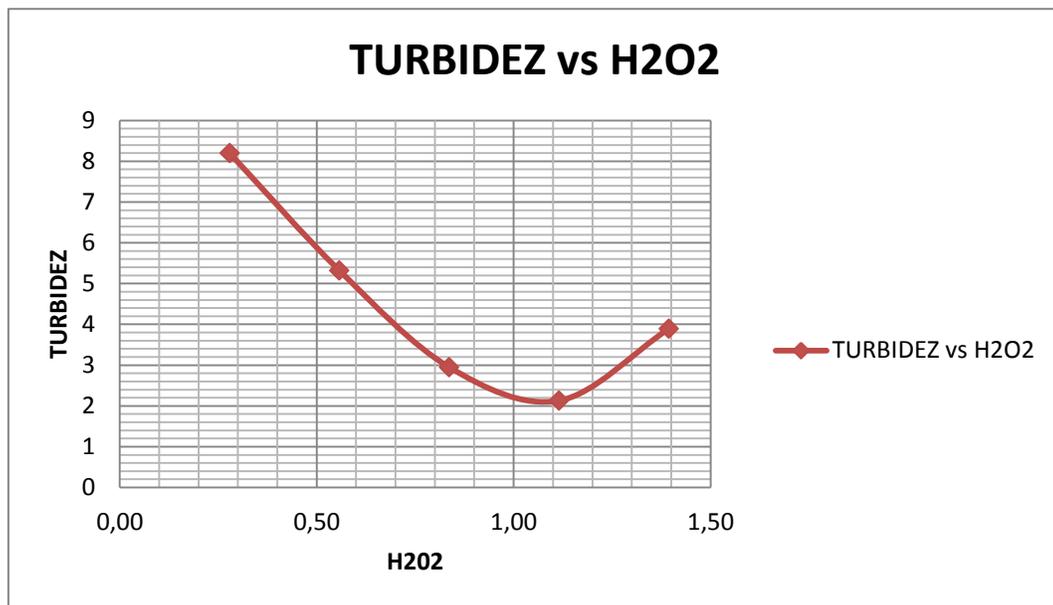
En la Grafica 18 se observa las dosis másicas del peróxido de Hidrogeno 30% v/v a adicionarse por cada relación molar para muestra Media. Con un  $\text{FeSO}_4$  constante y óptimo ya obtenido en anterior análisis **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 20:** Efecto de la concentración  $\text{H}_2\text{O}_2$  en tipo de Muestra Media mediante pruebas experimentales

EFECTO DE LA CONCENTRACION H2O2 - MUESTRA MEDIA						
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	DOSIS "FENTON"		DQO (mg/l)	FINAL	
		$\text{FeSO}_4$	$\text{H}_2\text{O}_2$		TURBIDEZ (NTU)	
M11	1:10	0,274	0,28	<b>340</b>	8,2	
M12	1:20	0,274	0,56	<b>425</b>	5,32	
M13	1:30	0,274	0,84	<b>355</b>	2,95	
M14	1:40	0,274	1,12	<b>225</b>	2,13	
M15	1:50	0,274	1,39	<b>460</b>	3,89	

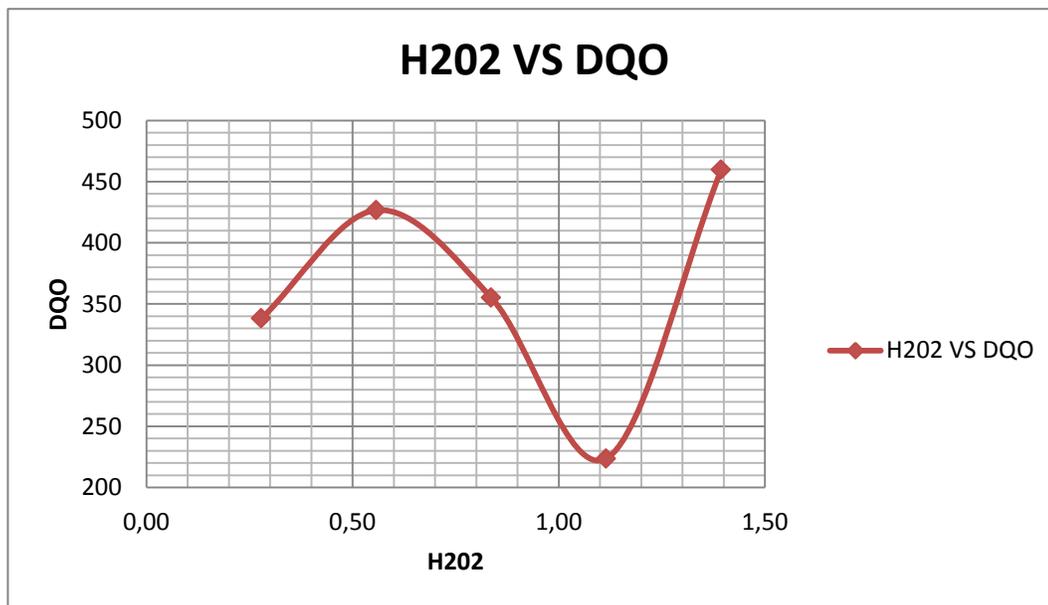
**Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 19:** Grafica Turbidez vs H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Media



En la Grafica 19 se observa el comportamiento de la DQO para las 5 pruebas de diferentes cantidades de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para muestra Media, de donde la dosis optima de peróxido de hidrogeno que se obtenga, será la que más eficiencia en remoción de cantidad de la DQO represente **Fuente:** Elaboración propia

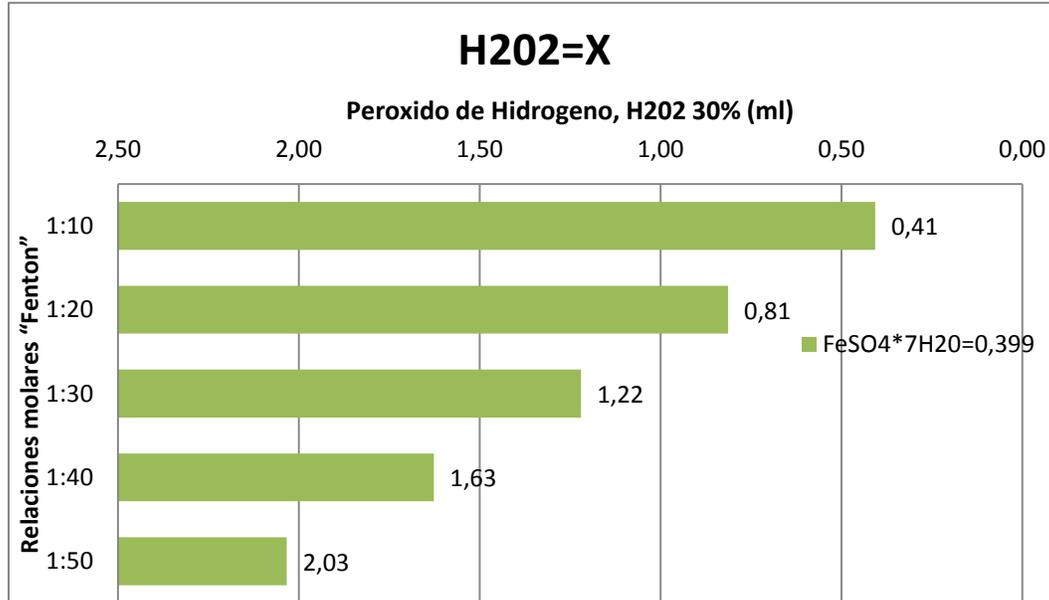
**Grafica 20:** Grafica DQO vs H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Media



En la Grafica 20 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 5 pruebas de diferentes cantidades de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en muestra Media. **Fuente:** Elaboración propia

### 6.2.1.2.3 Muestra intensa

**Grafica 21:** Dosis másica del peróxido de hidrogeno para Muestra Intensa



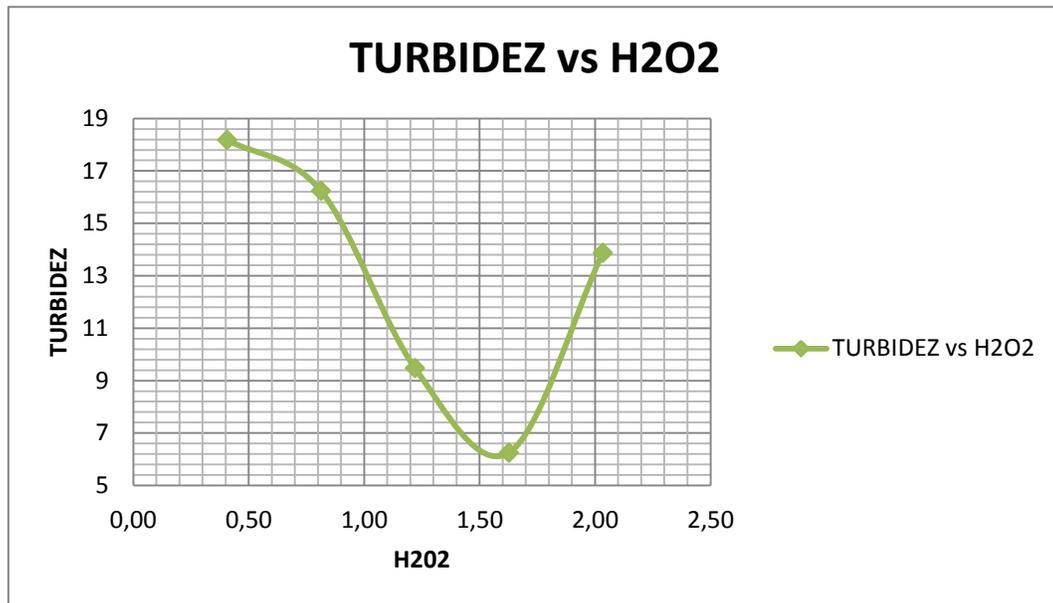
En la Grafica 21 se observa las dosis másicas del peróxido de Hidrogeno 30% v/v a adicionarse por cada relación molar para muestra Intensa. Con un FESO<sub>4</sub> constante y óptimo ya obtenido en anterior análisis **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 21:** Efecto de la concentración H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en tipo de Muestra Intensa mediante pruebas experimentales

EFECTO DE LA CONCENTRACION H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> - MUETRA INTENSA						
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	DOSIS "FENTON"		DQO (mg/l)	FINAL	
		FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		TURBIDEZ (NTU)	
I11	1:10	0,399	0,41	<b>890</b>		18,18
I12	1:20	0,399	0,81	<b>835</b>		16,23
I13	1:30	0,399	1,22	710		9,48
I14	1:40	0,399	1,63	540		6,25
I15	1:50	0,399	2,03	<b>740</b>		13,87

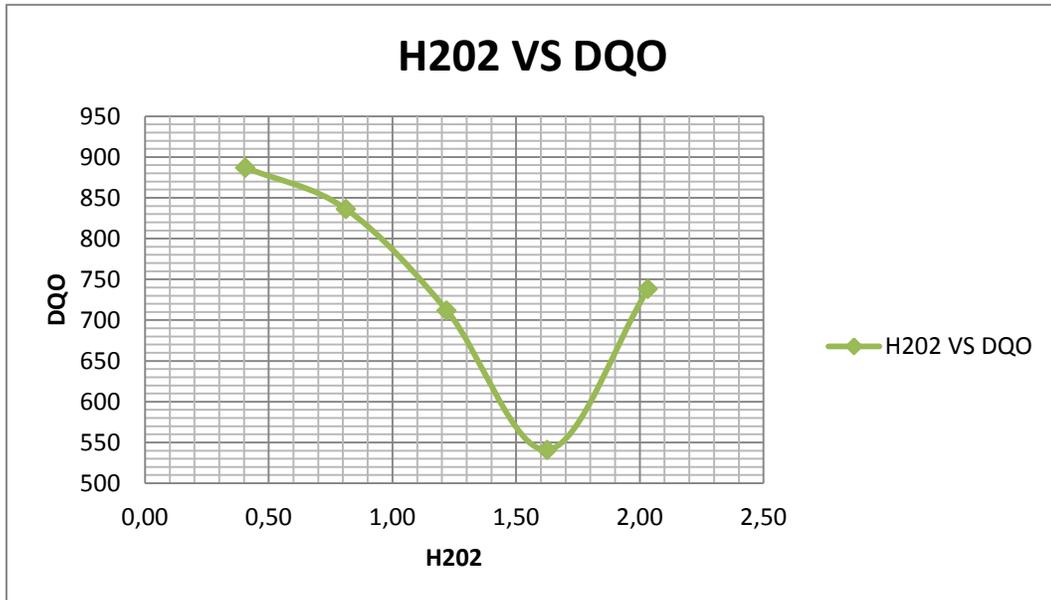
**Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 22:** Grafica Turbidez vs H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Intensa



En la Grafica 22 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 5 pruebas de diferentes cantidades de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en muestra Intensa **Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 23:** Grafica DQO vs H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Efecto de la concentración de peroxide en tipo de Muestra Intensa



En la Grafica 23 se observa el comportamiento de la DQO para las 5 pruebas de diferentes cantidades de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para muestra Intensa, de donde la dosis optima de peróxido de hidrogeno que se obtenga, será la que más eficiencia en remoción de cantidad de la DQO represente **Fuente:**

Elaboración propia

Se observa que la eliminación de materia orgánica mejora al aumentar la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, hasta un cierto punto en el cual el incremento del peróxido dejó de producir un efecto positivo, este punto se tomó como el correspondiente a la concentración óptima de peróxido de hidrógeno. La posterior etapa de coagulación provocó un ligero aumento del porcentaje de reducción de DQO, alcanzando un valor medio en torno al 76 %.

**Figura 28:** Pruebas experimentales reducción de DQO y turbidez



Fuente: Elaboración propia

### 6.2.1.3 Efecto de otras variables $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$

En esta etapa ya se tienen las dosis óptimas del reactivo “Fenton” y se optimiza el uso del coagulante que no tuvo mucho efecto en los tipos de muestras.

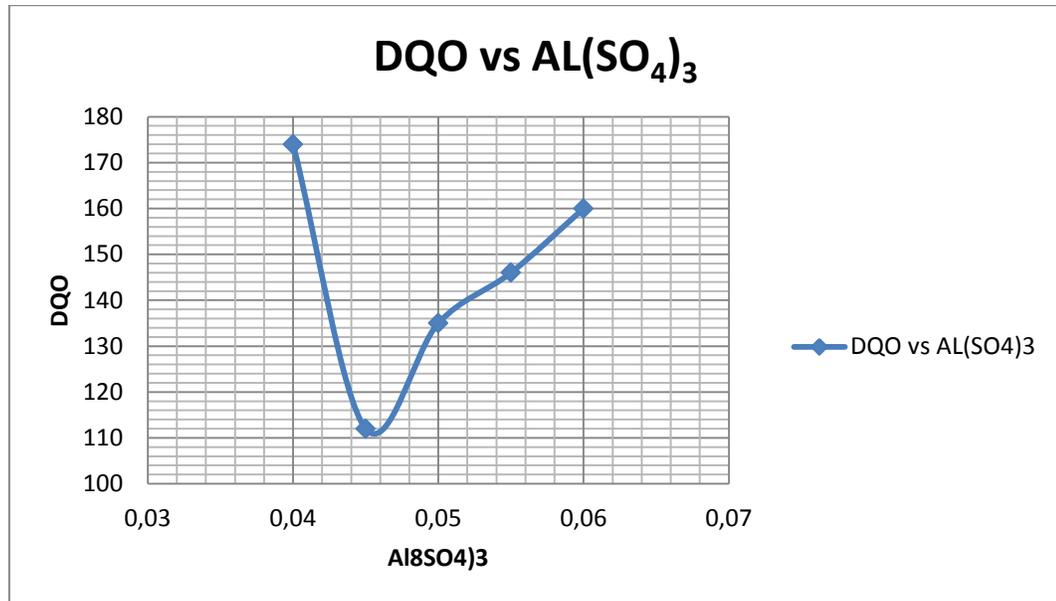
#### 6.2.1.3.1 Muestra Clara

**Tabla 22:** Efecto de la concentración de otras variables como ser el  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  en tipo de Muestra Clara

EFECTO DE OTRAS VARIABLES $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ - MUETRA CLARA						
N° PRUEBA	DOSIS “FENTON”		COAGULACION	DQO (mg/l)	FINAL	
	$\text{FESO}_4$	$\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3$		TURBIDEZ (NTU)	
C16	0,171	0,86	0,04	<b>175</b>	1,49	
C17	0,171	0,86	0,045	<b>110</b>	0,32	
C18	0,171	0,86	0,05	<b>135</b>	2,25	
C19	0,171	0,86	0,055	<b>145</b>	2,97	
C20	0,171	0,86	0,06	<b>160</b>	2,11	

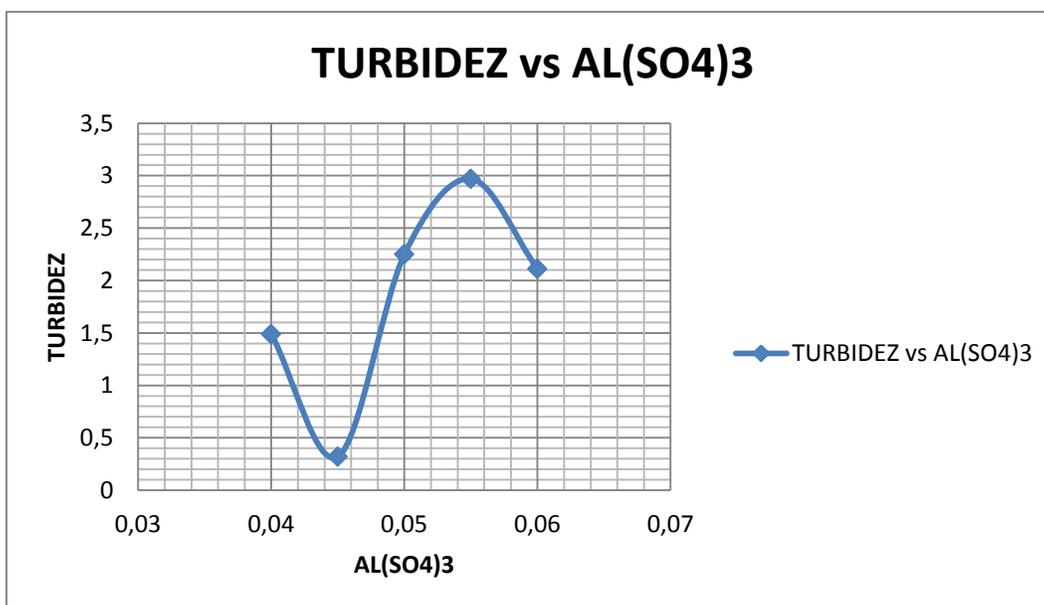
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 24:** Grafica DQO vs  $Al(SO_4)_3$  Efecto de la concentración del coagulante  
Muestra Clara



En la Grafica 24 se observa el comportamiento de la DQO para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $Al(SO_4)_3$  para muestra Clara, **Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 25:** Grafica Turbidez vs  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  Efecto de la concentración del coagulante Muestra Clara



En la Grafica 25 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  en muestra Clara. **Fuente:** Elaboración propia

#### 6.2.1.3.2 Muestra Media

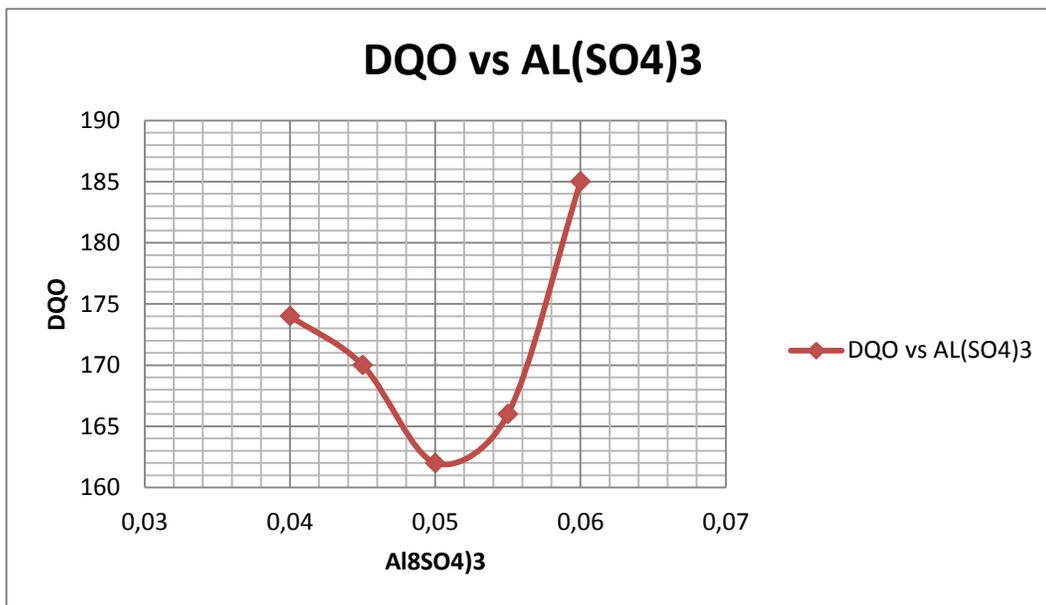
**Tabla 23:** Efecto de la concentración de otras variables como ser el  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  en tipo de Muestra Media

EFECTO DE OTRAS VARIABLES $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ - MUESTRA MEDIA						
N° PRUEBA	DOSIS "FENTON"		COAGULACION		DQO (mg/l)	FINAL TURBIDEZ (NTU)
	$\text{FESO}_4$	$\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3$			
M16	0,274	1,12	0,04		<b>175</b>	2,11
M17	0,274	1,12	0,045		<b>170</b>	1,73
M18	0,274	1,12	0,05		<b>160</b>	0,48
M19	0,274	1,12	0,055		<b>165</b>	0,87
M20	0,274	1,12	0,06		<b>185</b>	1,25

**Fuente:** Elaboración propia

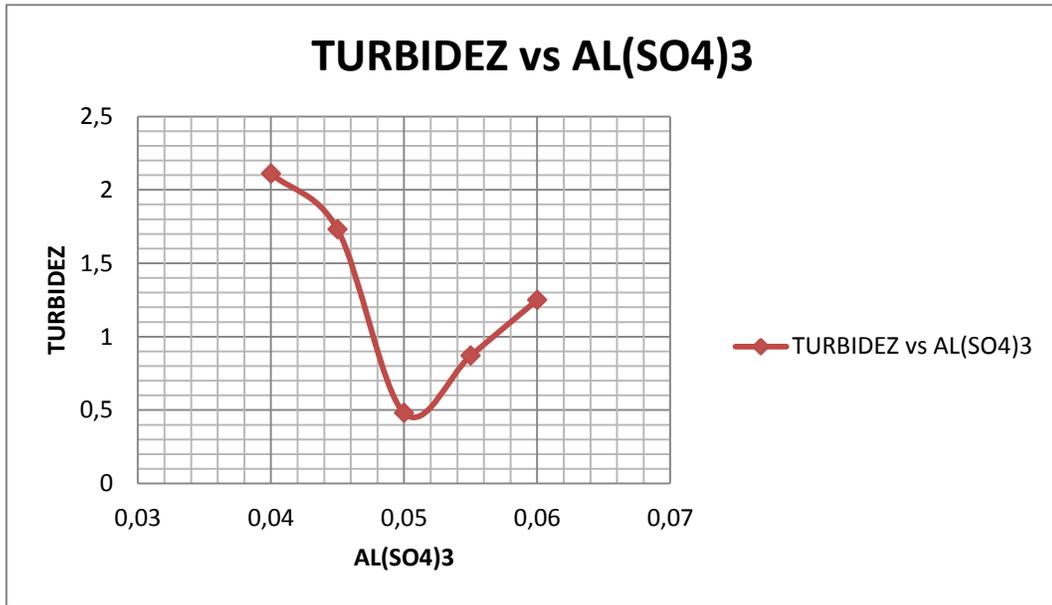
**Grafica 26:** Grafica DQO vs  $Al(SO_4)_3$  Efecto de la concentración del coagulante

Muestra Media



En la Grafica 26 se observa el comportamiento de la DQO para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $Al(SO_4)_3$  para muestra Media, **Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 27:** Grafica Turbidez vs  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  Efecto de la concentración del coagulante Muestra Media



En la Grafica 25 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  en muestra Media. **Fuente:** Elaboración propia

#### 6.2.1.3.3 Muestra Intensa

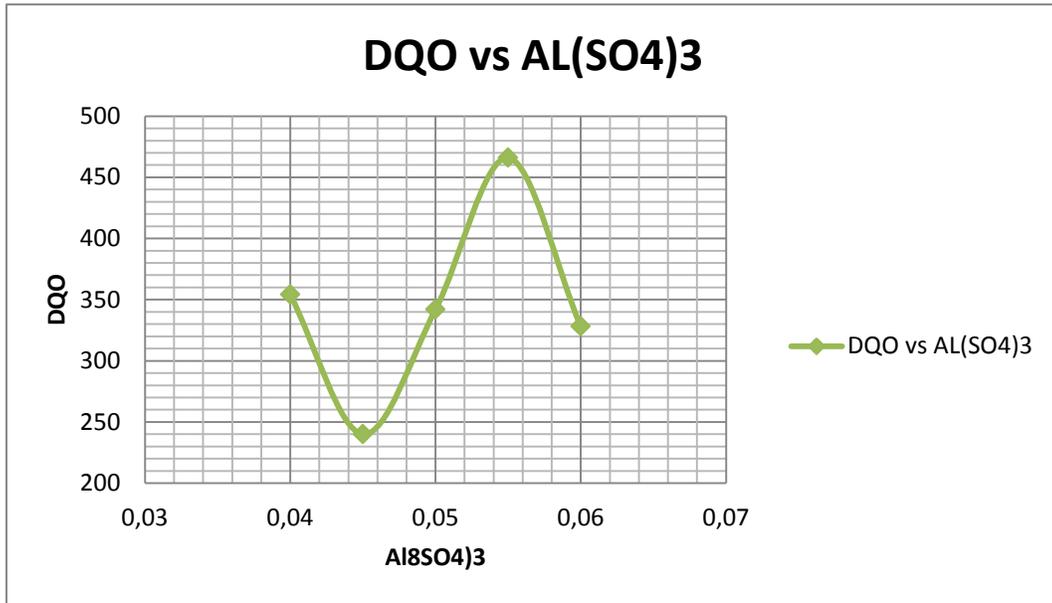
**Tabla 24:** Efecto de la concentración de otras variables como ser el  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  en tipo de Muestra Intensa

N° PRUEBA	EFECTO DE OTRAS VARIABLES $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ - MUESTRA INTENSA			DQO (mg/l)	FINAL TURBIDEZ (NTU)
	DOSIS "FENTON"		COAGULACION		
	$\text{FESO}_4$	$\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3$		
I16	0,399	1,63	0,04	<b>355</b>	2,23
I17	0,399	1,63	0,045	<b>240</b>	1,12
I18	0,399	1,63	0,05	<b>340</b>	2,05
I19	0,399	1,63	0,055	<b>465</b>	3,23
I20	0,399	1,63	0,06	<b>330</b>	2,67

**Fuente:** Elaboración propia

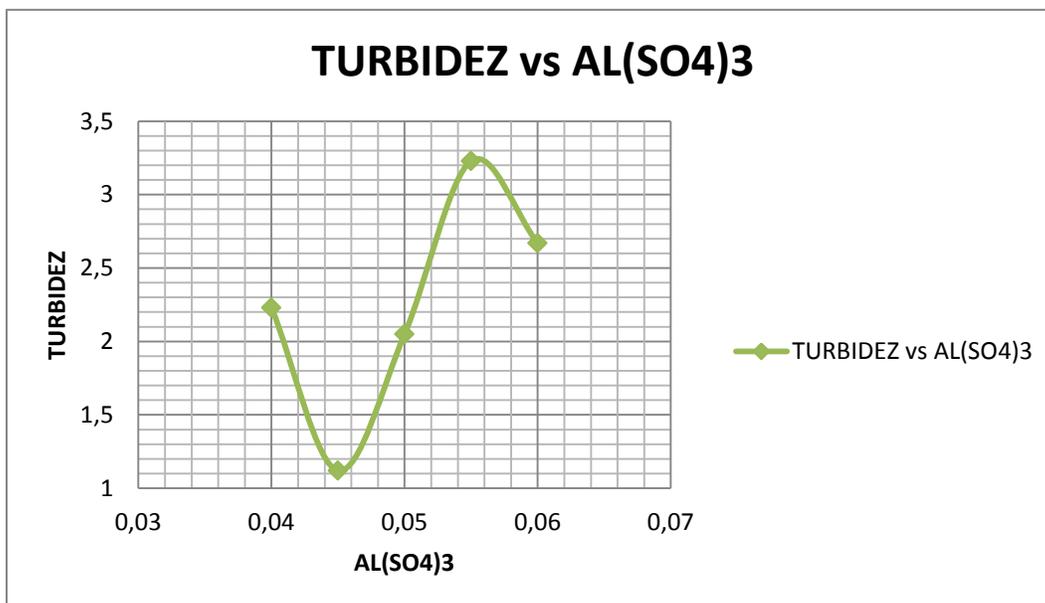
**Grafica 28:** Grafica DQO vs  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  Efecto de la concentración del coagulante

Muestra Intensa



En la Grafica 28 se observa el comportamiento de la DQO para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  para muestra Intensa, **Fuente:** Elaboración propia

**Grafica 29:** Grafica Turbidez vs  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  Efecto de la concentración del coagulante Muestra Intensa



En la Grafica 25 se observa el comportamiento de la Turbidez para las 5 pruebas de diferentes cantidades de  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  en muestra Intensa. **Fuente:** Elaboración propia

De esta manera se determinó la dosis óptima de del reactivo “Fenton” en los diferentes tipos de muestra, obteniendo los resultados de la tabla 25 donde las dosis óptimas fueron las que permiten que el agua tratada se asemeje al agua pura en turbidez y DQO. Por lo tanto, se evaluó la reacción “Fenton” a diferentes relaciones molares en las diferentes muestras.

En la siguiente tabla se puede observar el resumen de los resultados de las dosis óptimas del proceso, de cada tipo de muestra y se puede verificar los resultados con el Laboratorio de calidad ambiental LCA (ver Anexo D).

**Tabla 25:** Parámetros iniciales y finales de los resultados de las dosis óptimas del proceso, de cada tipo de muestra.

MUESTRA	DOSIS OPTIMAS														
	Inicial			Acidificación		Dosis "Fenton"		Neutralización		Coagulación		Final			
	DQO (mg/l)	Turbidez (NTU)	PH°	ST (mg/l)	H2SO4 (ml)	PHn	FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NaOH (ml)	PHn	Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	DQO (mg/l)	Turbidez(NTU)	PH	ST (mg/l)
CLARA	785	3,9	7,4	1449	0,2	2,85	<b>0,171</b>	<b>0,86</b>	0,70	6,63	0,045	<b>112</b>	<b>0,32</b>	6,14	1751
MEDIA	1440	15,8	8,99	2007	0,4	2,77	<b>0,274</b>	<b>1,12</b>	1,75	7,20	0,05	<b>162</b>	<b>0,48</b>	8,03	2103
INTENSA	2368	36,2	10,03	3635	1,2	2,98	<b>0,399</b>	<b>1,63</b>	4,60	7,11	0,045	<b>240</b>	<b>1,12</b>	6,40	3403

Fuente: Elaboración propia

**Figura 29:** Pruebas experimentales dosis óptimas para cada tipo de muestra



Fuente: Elaboración propia

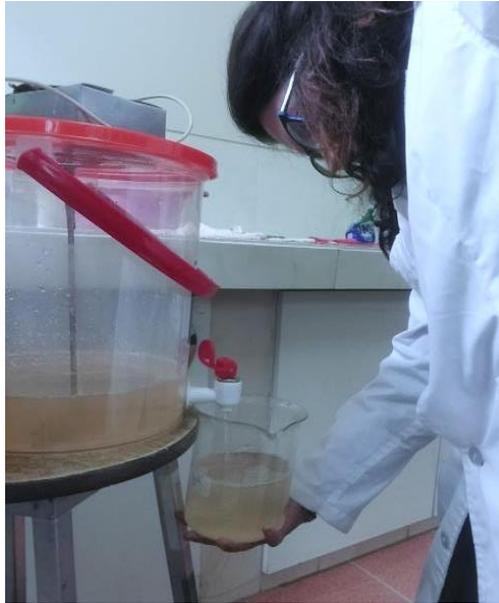
### 6.3 TERCERA ETAPA EN LABORATORIO

#### 6.3.1 Pruebas para el modelo cinético

Después de obtener las condiciones óptimas de operación, se realizó el estudio cinético. Primeramente se hace un seguimiento durante seis horas a la muestra en el sistema, tomando ratios cada 60 minutos o mientras transcurre la reacción.

Las condiciones en las que se trabajaron para realizar el estudio cinético fueron el resumen de los resultados de las dosis óptimas tabla 25, demostrando así el modelo cinético para el tipo de muestra clara, media e intensa que fue basado en la medida de la concentración de la DQO.

**Figura 30:** Pruebas experimentales para el modelo cinético



**Fuente:** Elaboración propia

### 6.3.2 Sistema experimental

El sistema empleado para llevar a cabo los experimentos en el laboratorio está formado por vasos de precipitado para las pruebas experimentales de dosificación, dos reactores de plástico, dos agitadores mecánicos, un recipiente plástico y un pHmetro digital, como se describe en la figura 31:

**Figura 31** Sistema experimental empleado en laboratorio



Fuente: Elaboración propia

A continuación se describen las características de los elementos que configuran el sistema experimental:

El reactor consiste en un cilindro plástico de 8 L de capacidad con una tapa provista de un agitador mecánico y un grifo para extraer muestra. El primer reactor está provisto de una camisa oscura en la superficie exterior para brindar condiciones experimentales y dar lugar a la reacción.

### **6.3.3 Modelo cinético basado en la DQO**

En esta parte se propone un esquema de reacción que permita obtener un modelo cinético capaz de ajustar los datos experimentales en todo el intervalo de variación de la DQO. El modelo propuesto ha sido desarrollado de manera experimental y ajustando al orden de reacción que se calcule.

Cinética de la remoción de DQO de las aguas residuales del área de tintorería de la industria textil ALTIFIBERS S.A. a condiciones óptimas del proceso “Fenton” para diferentes tipos de muestras.

### 6.3.3.1 Tipo de Muestra Clara.

**Tabla 26:** Datos obtenidos experimentalmente para realizar el estudio cinético Muestra Clara

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>DQO FINAL (mg/l)</b>	<b>% REMOCION</b>
0	785	0
60	680	13,376
120	520	33,758
180	480	38,854
240	320	59,236
300	180	77,070
360	180	77,070

**Fuente:** Elaboración propia

Condiciones de operación:

$\text{FeSO}_4 = 630 \text{ mg/L}$

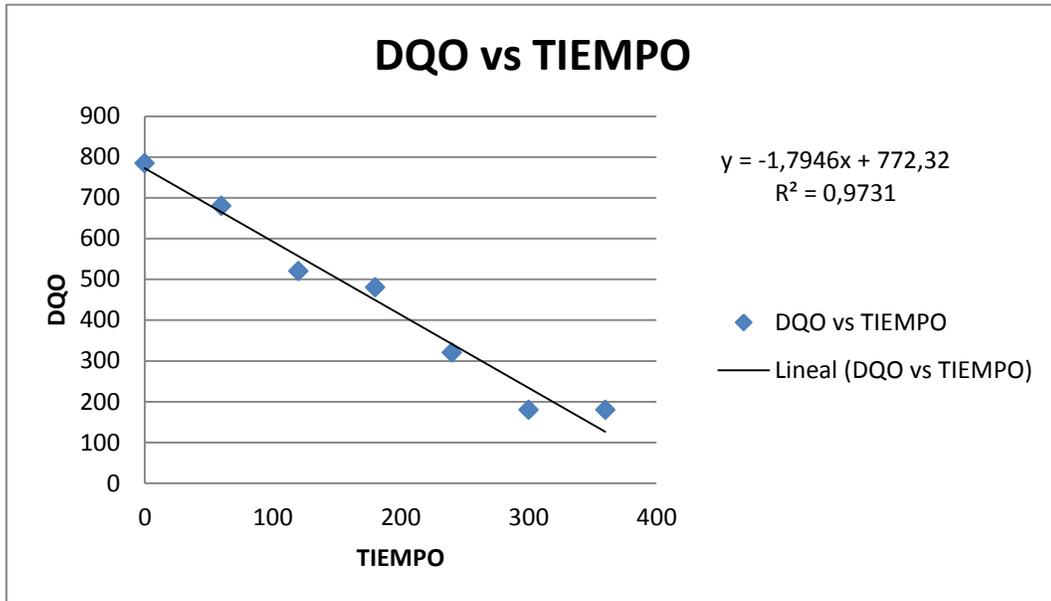
$\text{H}_2\text{O}_2 = 3741 \text{ mg/L}$

pH = 2,85

Presión: Atmosférica

Temperatura: Ambiente

**Grafica 30:** Grafica DQO vs tiempo estudio cinético Muestra Clara



**Fuente:** Elaboración propia

Determinación del orden, constante de velocidad y ecuación que gobierna una cinética de variación de la DQO, mediante la ecuación cinética

$$\frac{d[DQO]}{dt} = \kappa * [DQO]^n \quad (Ec 6)$$

Donde:

[DQO] = Representa la concentración de la demanda química de oxígeno

n = Representa el orden de la reacción

k = Es la constante de velocidad de reacción

t = Es el tiempo que transcurre la reacción

La ecuación 6 que se acaba de citar Integrando y ordenando se convierte en:

$$\ln\left(\frac{DQO}{t}\right) = \ln k + n \ln t \quad (\text{Ec 7})$$

La ecuación 7 se iguala con la ecuación lineal:

$$y = a + b * x \quad (\text{Ec 8})$$

Con los valores de tiempo y concentración de la DQO de la tabla 27 se realiza un análisis de regresión para los datos.

**Tabla 27:** Cálculos para la cinética de reacción Muestra Clara

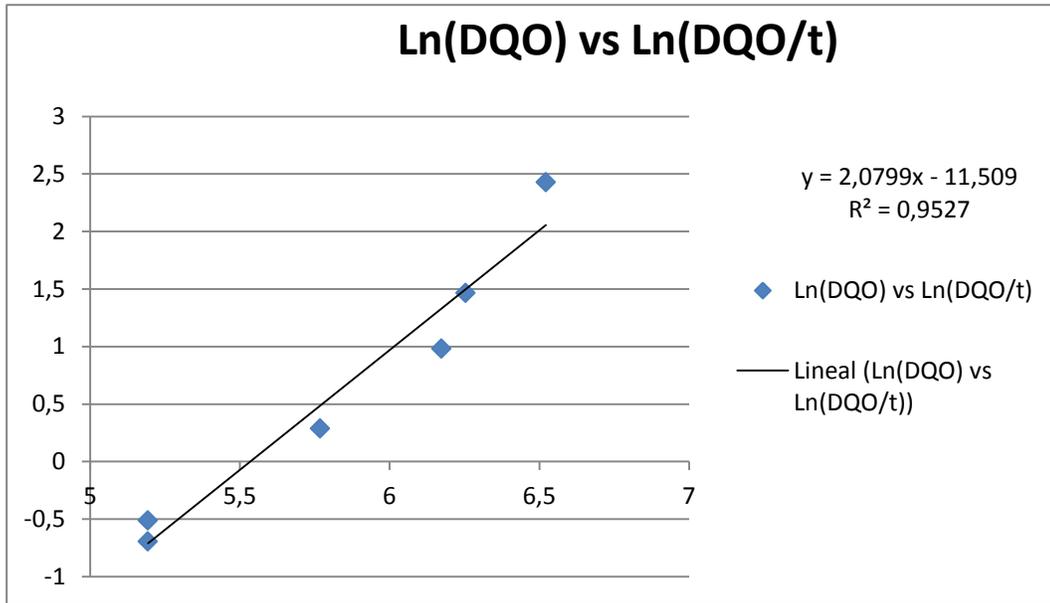
TIEMPO	DQO	DQO/t	Ln(DQO/t)	Ln(DQO)
0	785	0	0	0
60	680	11,333	2,42774824	6,5220928
120	520	4,333	1,46633707	6,25382881
180	480	2,667	0,98082925	6,1737861
240	320	1,333	0,28768207	5,768321
300	180	0,600	-0,51082562	5,19295685
360	180	0,500	-0,69314718	5,19295685

**Fuente:** Elaboración propia

Donde se realiza el tratamiento de datos correspondientes y la regresión lineal

**Grafica 31:** Grafica Ln(DQO) vs Ln(DQO/t) regresión lineal cinética de reacción

Muestra Clara



Fuente: Elaboración propia

Reemplazando la Ecuación 8

$$y = 2,0799x - 11,509$$

$$R^2 = 0,9527$$

La tabla 27 muestra el análisis de regresión para una cinética de reacción de orden dos del proceso “Fenton” sobre las aguas residuales del tipo de muestra claras, ya que se reemplazando valores se obtienen resultados para la constante cinética y el orden de reacción.

$$a = -11,509$$

$$\ln k = -11,509$$

$$k = 1,00393 * 10^{-5}$$

$$b = n = 2,0799 \cong 2$$

Se realizó el mismo procedimiento para los otros tipos de muestra

### 6.3.3.2 Tipo de Muestra Media.

**Tabla 28:** Datos obtenidos experimentalmente para realizar el estudio cinético Muestra Media

TIEMPO (min)	DQO FINAL (mg/l)	% REMOCION
0	1440	0
60	1040	27,778
120	860	40,278
180	540	62,500
240	320	77,778
300	210	85,417
360	220	84,722

**Fuente:** Elaboración propia

Condiciones de operación:

$\text{FeSO}_4 = 966 \text{ mg/L}$

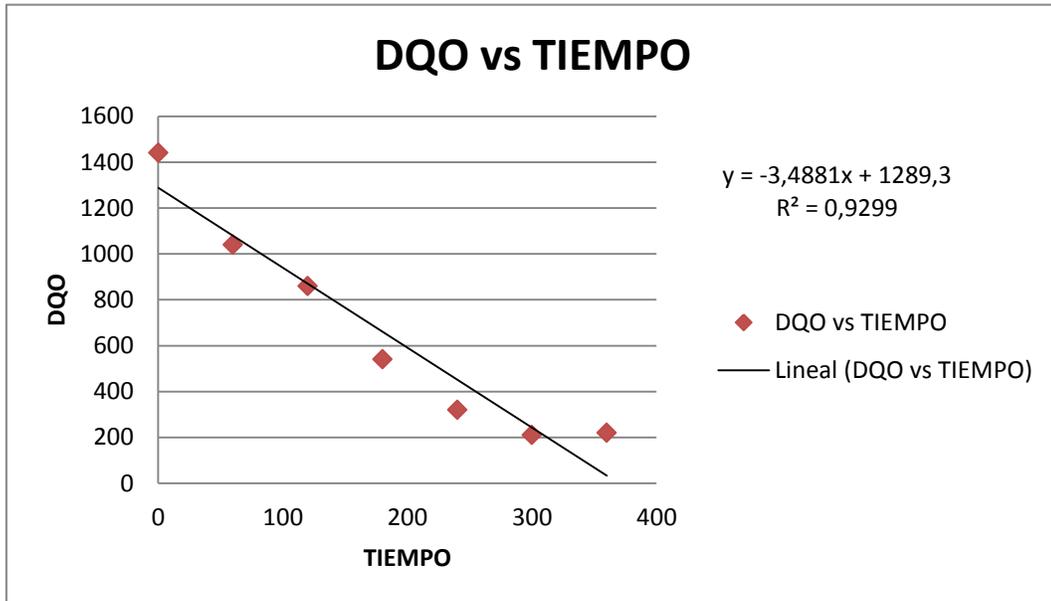
$\text{H}_2\text{O}_2 = 4850 \text{ mg/L}$

$\text{pH} = 2,77$

Presión: Atmosférica

Temperatura: Ambiente

**Grafica 32:** Grafica DQO vs tiempo estudio cinético Muestra Media



**Fuente:** Elaboración propia

Determinación del orden, constante de velocidad y ecuación que gobierna una cinética de variación de la DQO, mediante la ecuación cinética

$$\frac{d[DQO]}{dt} = \kappa * [DQO]^n$$

Integrando y ordenando se convierte en:

$$\ln\left(\frac{DQO}{t}\right) = \ln k + n \ln t$$

Se iguala con la ecuación lineal:

$$y = a + b * x$$

Con los valores de tiempo y concentración de la DQO de la tabla 28 se realiza un análisis de regresión para los datos.

**Tabla 29:** Cálculos para la cinética de reacción Muestra Media

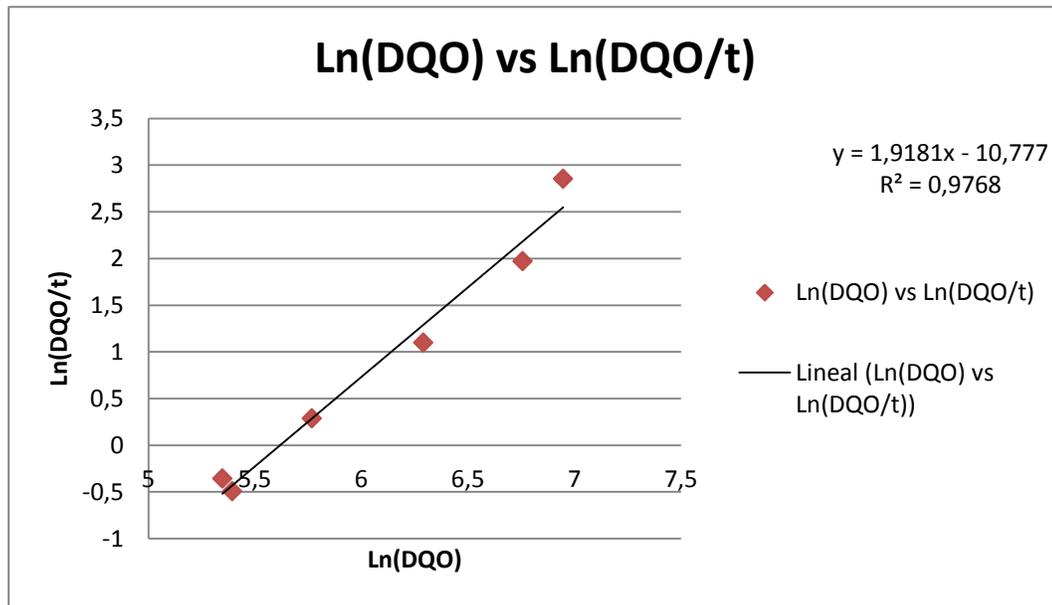
TIEMPO	DQO	DQO/t	Ln(DQO/t)	Ln(DQO)
0	1440	0	0	0
60	1040	17,333	2,85263143	6,94697599
120	860	7,167	1,96944065	6,75693239
180	540	3,000	1,09861229	6,29156914
240	320	1,333	0,28768207	5,768321
300	210	0,700	-0,35667494	5,34710753
360	220	0,611	-0,49247649	5,39362755

**Fuente:** Elaboración propia

Donde se realiza el tratamiento de datos correspondientes y la regresión lineal

**Grafica 33:** Grafica Ln(DQO) vs Ln(DQO/t) regresión lineal cinética de reacción

Muestra Media



Fuente: Elaboración propia

Remplazando la Ecuación 8

$$y = 1,9181x - 10,777$$

$$R^2 = 0,9768$$

La tabla 29 muestra el análisis de regresión para una cinética de reacción de orden dos del proceso “Fenton” sobre las aguas residuales del tipo de muestra Media, ya que se reemplazan los valores.

$$a = -10,777$$

$$\ln k = -10,777$$

$$k = 2,08741 * 10^{-5}$$

$$b = n = 1,9181 \cong 2$$

### 6.3.3.3 Tipo de Muestra Intensa.

**Tabla 30:** Datos obtenidos experimentalmente para realizar el estudio cinético Muestra Media

TIEMPO (min)	DQO FINAL (mg/l)	% REMOCION
0	2368	0
60	1940	18,074
120	1250	47,213
180	940	60,304
240	520	78,041
300	410	82,686
360	350	85,220

Fuente: Elaboración propia

Condiciones de operación:

FeSO<sub>4</sub> = 1410 mg/L

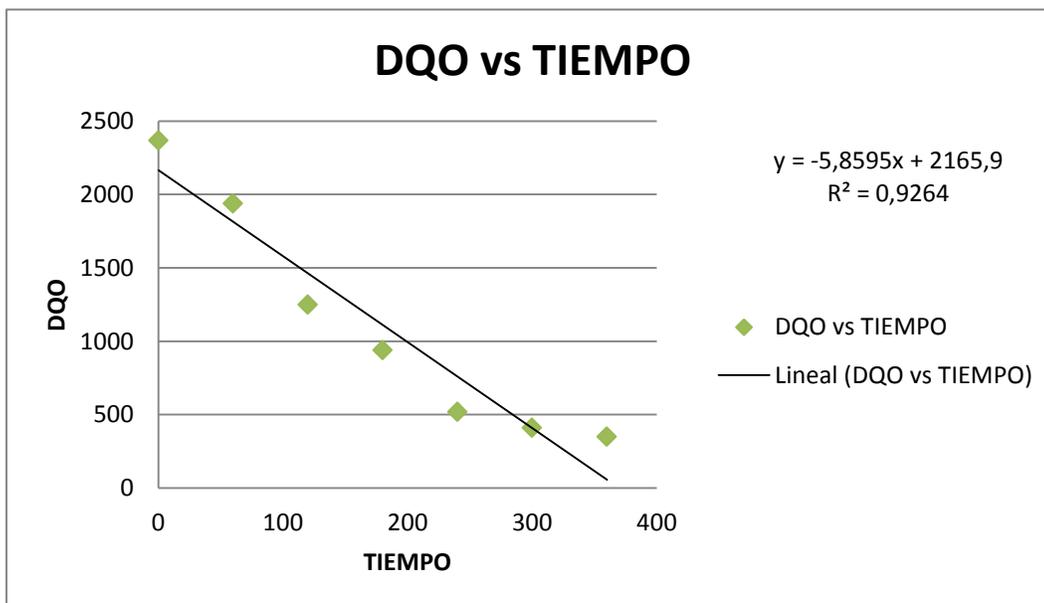
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 7076 mg/L

pH = 2,98

Presión: Atmosférica

Temperatura: Ambiente

**Grafica 34:** Grafica DQO vs tiempo estudio cinético Muestra Intensa



**Fuente:** Elaboración propia

Determinación del orden, constante de velocidad y ecuación que gobierna una cinética de variación de la DQO, mediante la ecuación cinética

$$\frac{d[DQO]}{dt} = \kappa * [DQO]^n$$

Integrando y ordenando se convierte en:

$$\ln\left(\frac{DQO}{t}\right) = \ln k + n \ln t$$

Se iguala con la ecuación lineal:

$$y = a + b * x$$

Con los valores de tiempo y concentración de la DQO de la tabla 30 se realiza un análisis de regresión para los datos.

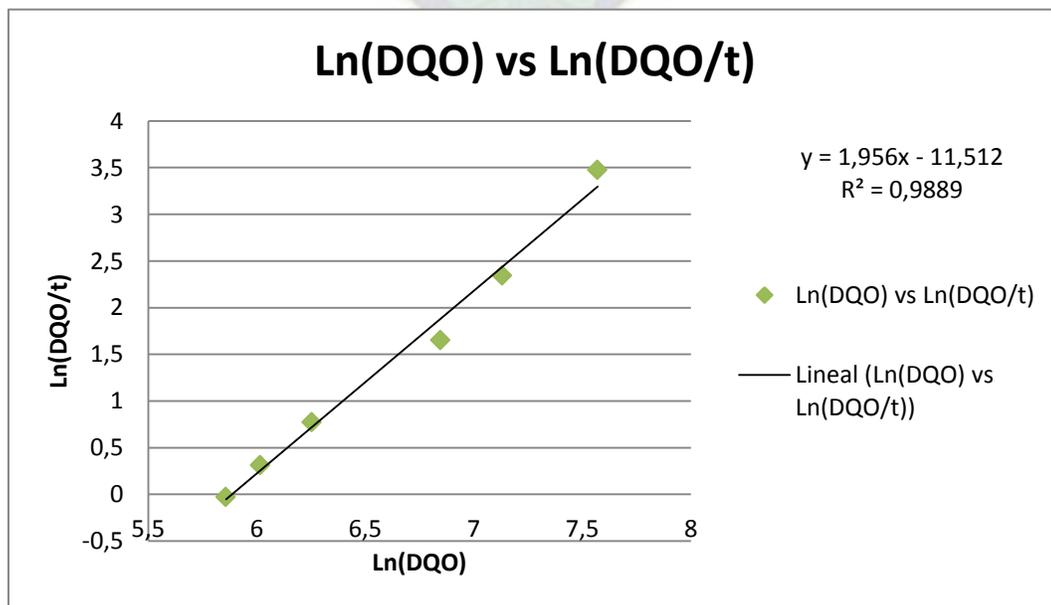
**Tabla 31:** Cálculos para la cinética de reacción Muestra Intensa

TIEMPO	DQO	DQO/t	Ln(DQO/t)	Ln(DQO)
0	2368	0	0	0
60	1940	32,333	3,47609869	7,57044325
120	1250	10,417	2,34340709	7,13089883
180	940	5,222	1,65292302	6,84587988
240	520	2,167	0,77318989	6,25382881
300	410	1,367	0,31237469	6,01615716
360	350	0,972	-0,02817088	5,85793315

**Fuente:** Elaboración propia

Donde se realiza el tratamiento de datos correspondientes y la regresión lineal

**Grafica 35:** Grafica Ln(DQO) vs Ln(DQO/t) regresión lineal cinética de reacción Muestra Intensa



**Fuente:** Elaboración propia

$$y = 1,956x - 11,512$$

$$R^2 = 0,9889$$

La tabla 31 muestra el análisis de regresión para una cinética de reacción de orden dos del proceso “Fenton” sobre las aguas residuales del tipo de muestra Intensa, ya que se reemplazan los valores.

$$a = - 11,512$$

$$\ln k = - 11,512$$

$$k = 1,00093 * 10^{-5}$$

$$b = n$$



## 7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio de tratamiento de aguas residuales para el sector de tintorería de la empresa textil Altifibers S.A., mediante el método de oxidación avanzada “Fenton” a nivel laboratorio.
- Se efectuó pruebas experimentales en laboratorio del proceso “Fenton” llegando así a clasificar 3 tipos de muestra de aguas (Claras, Medias e Intensas), con las cuales se trabajó y se determinó la concentración optima del reactivo “Fenton”.
- El modelo cinético de la reacción Fenton se calculó en función de la DQO, teniendo resultados que el proceso es de comportamiento de orden 2 en el tipo de efluentes del área textil.
- Se evaluó la caracterización fisicoquímica del efluente del sector tintorería antes y después del tratamiento de aguas del método de oxidación avanzada “Fenton”, en los ambientes del instituto de investigación de procesos químicos IDEPROQ, y se corrobora los datos obtenidos con el Laboratorio de calidad Ambiental LCA.
- Se logra obtener un nivel de remoción de porcentaje de la DQO del 85% y una turbidez de 0,32 NTU, llegando a cumplir con los límites permisibles de descarga de efluentes de la ley 1333.
- El proceso “Fenton” permite tratar efluentes con alto contenido orgánico, cual puede ser aplicado para la disminución de la DQO y decoloración de soluciones que contienen compuestos azoicos, como es el caso de las aguas de desecho del teñido en la industria textil.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados experimentales obtenidos, y con el objetivo de mejorar y completar el tratamiento del efluente textil mediante procesos “Fenton” se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda ampliar el estudio del tratamiento a escala piloto, especialmente para encontrar los costes del proceso, el estudio sobre la viabilidad del tratamiento mediante PAOs con un pre-tratamiento biológico.
- Considerar empleo de la radiación solar como fuente de radiación UV en el tratamiento “Foto Fenton” debido a sus ventajas ambientales y económicas, en las pruebas experimentales se probó 2 experimentos, teniendo resultados importantes similares al de proceso Fenton pero con una velocidad de reacción más rápida, es pertinente e interesante profundizar el tema con la radiación UV.
- Utilizar siempre implementos de protección personal al manipular los reactivos en especial el peróxido de hidrogeno, ácido sulfúrico debido a su porcentaje de concentración, estos pueden repercutir en la salud del investigador.
- Se recomienda a la industria textil Altifibers S.A. que una vez tratada el agua residual, considere la reutilización del mismo, una vez tratado, para utilizarlo en el proceso de Lavado, así aportar a la recuperación del 38% de agua de consumo por día de este recurso tan valioso.
- Se sugiere ampliar el estudio del modelo cinético propuesto, para verificar el orden de reacción obtenido, que servirá de línea base en futuros proyectos.

## 8. CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFIA

### Bibliografía

Mundo Textil. (2015). Recuperado el 27 de agosto de 2019, de [www.mundotextilmag.com.ar](http://www.mundotextilmag.com.ar):  
<https://mundotextilmag.com.ar/>

[www.Altifibers.com](http://www.altifibers.com). (2018). Obtenido de [www.Altifibers.com](http://www.altifibers.com):  
[http://www.altifibers.com/\\_la\\_empresa](http://www.altifibers.com/_la_empresa)

Angel, D. N. (2017). Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (poa). Puno-Peru : Repositorio Institucional UNA-PUNO.

Castro, G. M. (1985). Tratamiento biológico de aguas residuales para reuso de irrigación en áreas verdes. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León .

Jurado, J. B. (2009). Degradación de un efluente textil real mediante procesos “Fenton” y Foto-”Fenton”. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Levano, J. L. (2013). Aplicaciones de Proceso foto-electro”Fenton” para la oxidación de contaminantes en la industria química. Lima- Peru: Universidad Nacional de Ingeniería.

Luza, A. (s.f.). Altifibers. Obtenido de [www.Altifibers.com](http://www.altifibers.com): <http://altifibers.com/main/about-us/>

Martinez, O. P. (2008). Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu mediante procesos de oxidación avanzada. Lima- Peru.

Rocha, A. M. (2013). Mejoramiento del proceso de tintorería mediante la determinación de tricromías y curvas de teñido caso: empresa ALTIFIBERS S.A. La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

Ruiz, C. S. (2015). REACCIONES “FENTON” (FT-TER-003). Sao Paulo- Brazil:  
Universidad de Coruña.

Soliz, M. T. (2016). Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas  
contaminadas. Barcelona: Universitat politecnica de Catalunya.

## **9. CAPITULO IX: ANEXOS**

## ANEXO A

### PROCESO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### OBJETIVO

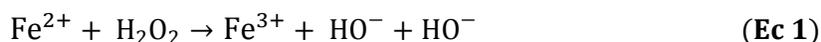
- Aplicación del proceso Fenton para el tratamiento de efluentes a nivel laboratorio

#### INTRODUCCION

El proceso “Fenton” es considerado el más prometedor debido a su elevada eficacia y bajo coste en la remediación de aguas contaminadas con compuestos tóxicos y/o no biodegradables, es efectivo para degradar compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PCBs, nitroaromáticos, colorantes azo, clorobenceno, fenoles. Son muy pocos los compuestos que no pueden ser atacados por este reactivo y se ha aplicado exitosamente para la reducción de la DQO

#### MECANISMO DE REACCION “FENTON”

La generación de radicales hidroxilo tiene lugar al combinar peróxido de hidrógeno y una sal de hierro (II), mezcla que se denomina reactivo de “Fenton” (Ecuación 1). Se trata de una reacción muy rápida que se produce en oscuridad, se omiten los ligandos del agua en las reacciones:

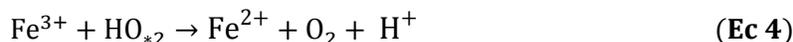
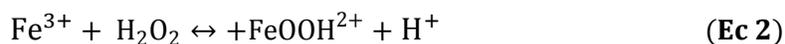


El ión Fe (III) puede reducirse por reacción con  $\text{H}_2\text{O}_2$  y formar de nuevo ión Fe (II) y más radicales hidroxilos. Este segundo proceso se denomina Fenton-like. Es más lento que el proceso de “Fenton”, y permite la regeneración de Fe(II).<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> Levano, J. L. (2013). *Aplicaciones de Proceso foto-electro "Fenton" para la oxidación de contaminantes en la industria química*. Lima- Peru: Universidad Nacional de Ingeniería.

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



### 9.1.1 Materiales, equipos y reactivos

La siguiente tabla recoge las principales características de los reactivos y productos químicos que se utilizan en la realización de los experimentos.

#### Equipos utilizados

EQUIPOS	MARCA	MODELO	DESCRIPCIÓN
Phmetro	HANNA	Medidor PH/EC/TDS/°C alto rango Serie HI991301	IDEPROQ
Turbidimetro	HANNA	Medidor de Turbidez con Tecnologia Fast Tracker Serie HI98703 Max 750 NTU Min 0,00 NTU	ALTIFIBERS S.A.
Balanza	DIETIKON, SWITZERAND	Precisa Gravimetrica AG Serie 321LS Max 220 g Min 0,01 g	IDEPROQ
Secadora	LAB DRYER	Secadora con aire caliente Serie LAB500	IDEPROQ

#### Materiales utilizados

MATERIALES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
PISETA	Plástica	1
BURETA	25ml	1
MATRAZ Erlenmeyer	25ml	1
MATRAZ Erlenmeyer	250 ml con tapa	4
Matraz Aforado	50ml	2
Matraz Aforado	1000ml	2

PIPETA Graduada	1ml	3
PIPETA Graduada	5ml	2
PIPETA Graduada	10ml	1
PIPETA Aforada	10ml	2
Vaso de precipitado	100ml	10
Vaso de precipitado	400ml	5
Vaso de precipitado	600ml	3
Vaso de precipitado	1000ml	1
Probeta	100ml Plástica	1
Probeta	1000ml Plástica	1
Propipeta	De globo	1
Tubos de ensayo		20
Tubos de ensayo	Con tapa	10
Gradilla	Plástica	1
Soporte Universal	Metálico	2
Aro	Metálico	4
Pinza Nuez		1
Hornilla		1
Recipiente	Metálico	1
Embudo	Plástico	4
Papel filtro	Pliegue	
Papel Phmetro		
Crisol	Con tapa	5
Espatula		1
Recipiente plástico		3
Agitadores Plasticos		2
Cepillo de limpieza		1
Varilla de vidrio		1

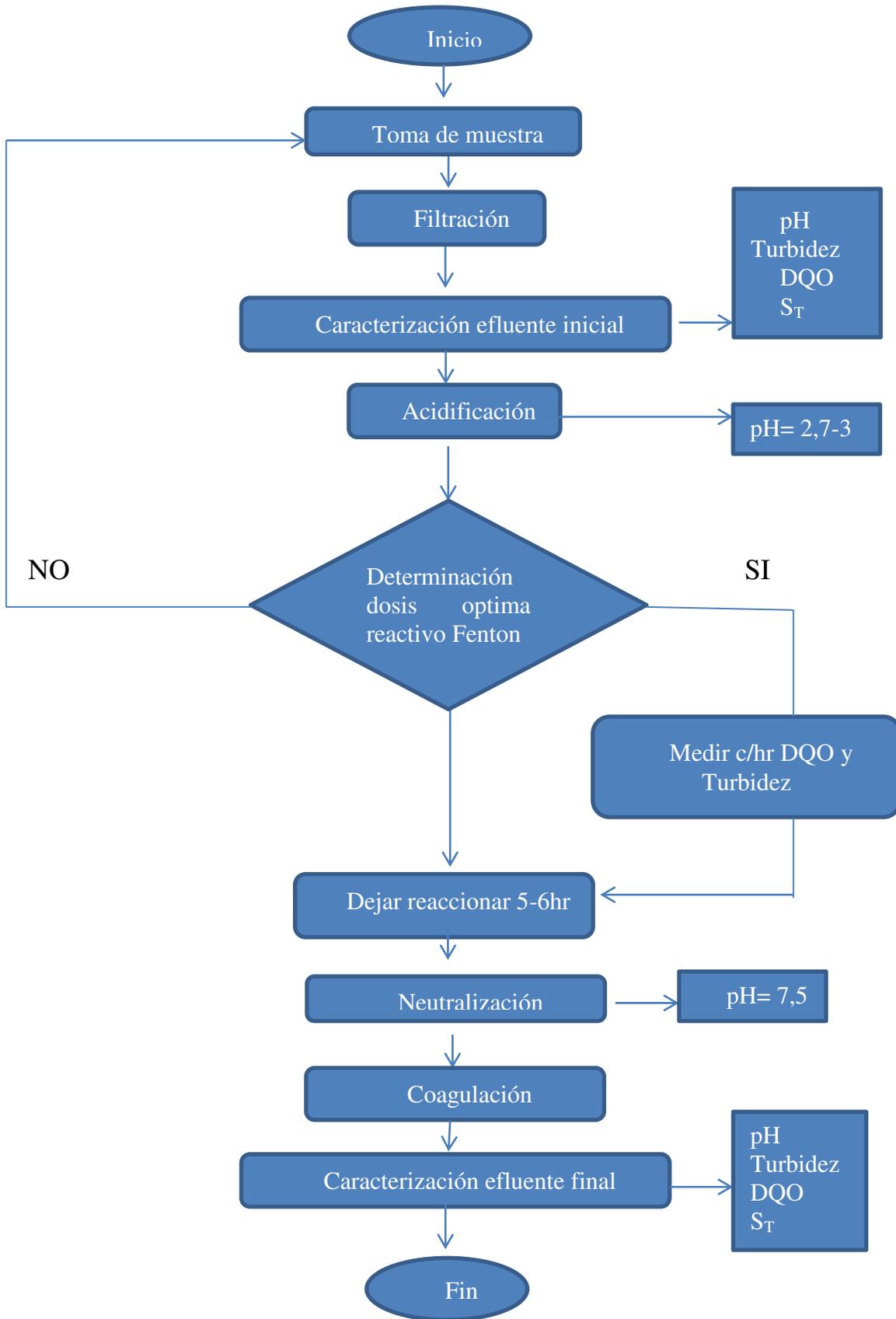
### Reactivos utilizados

REACTIVOS	DESCRIPCION	
Ácido Sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97% pureza
Hidróxido de Sodio	NaOH	PA
Sulfato Ferroso	FeSO <sub>4</sub>	Heptahidratado
Peróxido de Hidrogeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	PA
Permanganato de potasio	KMnO <sub>4</sub>	PA
Oxalato de Sodio	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	PA
Sulfato de plata	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PA
Sulfato de Aluminio	AL <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	PA

## PROCEDIMIENTO

1. Realizar la toma de muestra del efluente que se va a analizar
2. Tomar 5 muestras de 100ml del efluente y proceder a filtrarlos con un embudo de plástico y papel filtro
3. Realizar la caracterización fisicoquímica inicial de la muestra (DQO, pH, conductividad, solidos totales, turbidez, etc )
4. Acidificar las muestras con Ácido Sulfúrico 10N para ajustar el pH inicial a un valor de 2,7-3 en cada vaso de precipitado.
5. Para encontrar la dosis optima del reactivo “Fenton” según el dato de la DQO inicial se dosifican diferentes cantidades de los reactivos  $H_2O_2$  al 30% y  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  a los vasos de precipitado, para obtener la dosificación óptima,
6. Dejar reaccionar entre 5 y 6 horas (tomar muestra cada hora de 0,5 ml para determinar el DQO y turbidez, los parámetros más representativos del objetivo de este proceso) hasta que los parámetros se mantengan constantes.
7. Neutralizar el pH del efluente tratado a un valor próximo al valor anterior a la acidificación (pH 7,5) utilizando hidróxido de sodio (NaOH) 50% p/v. De esta manera se provoca la precipitación del catalizador metálico añadido en el proceso.
8. Para mejorar el proceso de oxidación avanzada “Fenton” se utilizó el coagulante sulfato de aluminio heptahidratado para que de esta manera se coagule el catalizador metálico añadido en el proceso y así poder realizar un tratamiento efectivo.
9. Realizar la caracterización fisicoquímica final de la muestra tratada (DQO, pH, conductividad, solidos totales, turbidez, etc ) y analizar resultados

## FLUJOGRAMA DEL PROCESO



## **REPORTE DE LA PRÁCTICA**

- Resultados de la práctica, siguiendo el procedimiento indicado
- Conclusiones y recomendaciones de la práctica

## ANEXO B

### PROCESOS DE TEÑIDOS DETALLADO

<b>PROCESO DETALLADO DE UN TEÑIDO CLARO</b>			
<b>PROCESOS</b>		<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>LAVADO DE MAQUINA</b>	Lavado de maquina	95	300
	Enjuague de maquina	60	60
	Neutralizado	60	60
<b>LAVADO DE MATERIAL</b>	Cargado de material		15
	Lavado de material	95	180
	1° Enjuague	60	60
	2° Enjuague	60	60
<b>TEÑIDO DE MATERIAL</b>	Llenado de agua	40	15
	Adición de auxiliares	40	10
	Control de temperatura	40	10
	Adición de colorantes	40	10
	Homogenización	40	15
	Control de temperatura	98	60
	Adición 2° Acido	98	20
	Agotamiento	98	30
	Enfriamiento	70	30
	Descarga de agua	70	10
<b>ENJUAGUE DE TEÑIDO</b>	Llenado de agua	40	10
	Control de temperatura	50	25
	Descarga de agua	50	10
	Llenado de agua	40	15
	Control de temperatura	40	30
	lavado en frio	40	10
	Descarga de agua	40	10
<b>SUAVIZADO</b>	Llenado de agua	40	10
	Control de temperatura	50	25
	Descarga de agua	50	10

<b>PROCESO DETALLADO DE UN TEÑIDO MEDIO</b>			
<b>PROCESOS</b>		<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>LAVADO DE MATERIAL</b>	<b>Cargado de material</b>		15
	<b>Lavado de material</b>	95	180
	<b>1° Enjuague</b>	60	60
	<b>2° Enjuague</b>	60	60
<b>TEÑIDO DE MATERIAL</b>	<b>Llenado de agua</b>	40	15
	<b>Adición de auxiliares</b>	40	10
	<b>Control de temperatura</b>	40	10
	<b>Adición de colorantes</b>	40	10
	<b>Homogenización</b>	40	15
	<b>Control de temperatura</b>	98	60
	<b>Adición 2° Acido</b>	98	20
	<b>Agotamiento</b>	98	30
	<b>Enfriamiento</b>	70	30
	<b>Descarga de agua</b>	70	10
<b>ENJUAGUE DE TEÑIDO</b>	<b>Llenado de agua</b>	40	10
	<b>Control de temperatura</b>	50	25
	<b>Descarga de agua</b>	50	10
	<b>Llenado de agua</b>	40	15
	<b>Control de temperatura</b>	40	30
	<b>lavado en frio</b>	40	10
	<b>Descarga de agua</b>	40	10
<b>SUAVIZADO</b>	<b>Llenado de agua</b>	40	10
	<b>Control de temperatura</b>	50	25
	<b>Descarga de agua</b>	50	10

<b>PROCESOS DE UN TEÑIDO INTENSO</b>			
<b>PROCESOS</b>		<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>LAVADO DE MATERIAL</b>	<b>Cargado de material</b>		15
	<b>Lavado de material</b>	95	180
	<b>1° Enjuague</b>	60	60
	<b>2° Enjuague</b>	60	60
<b>TEÑIDO DE MATERIAL</b>	<b>Llenado de agua</b>	40	15
	<b>Adición de auxiliares</b>	40	10
	<b>Control de temperatura</b>	40	10
	<b>Adición de colorantes</b>	40	10
	<b>Homogenización</b>	40	15
	<b>Control de temperatura</b>	98	60
	<b>Adición 2° Acido</b>	98	20

	<b>Agotamiento</b>	98	30
	<b>Enfriamiento</b>	70	30
	<b>Descarga de agua</b>	70	10
<b>ENJUAGUE DE TEÑIDO</b>	<b>Llenado de agua</b>	40	10
	<b>Control de temperatura</b>	50	25
	<b>Descarga de agua</b>	50	10
	<b>Llenado de agua</b>	40	15
	<b>Control de temperatura</b>	40	30
	<b>lavado en frio</b>	40	10
	<b>Descarga de agua</b>	40	10
<b>SUAVIZADO</b>	<b>Llenado de agua</b>	40	10
	<b>Control de temperatura</b>	50	25
	<b>Descarga de agua</b>	50	10

## ANEXO C

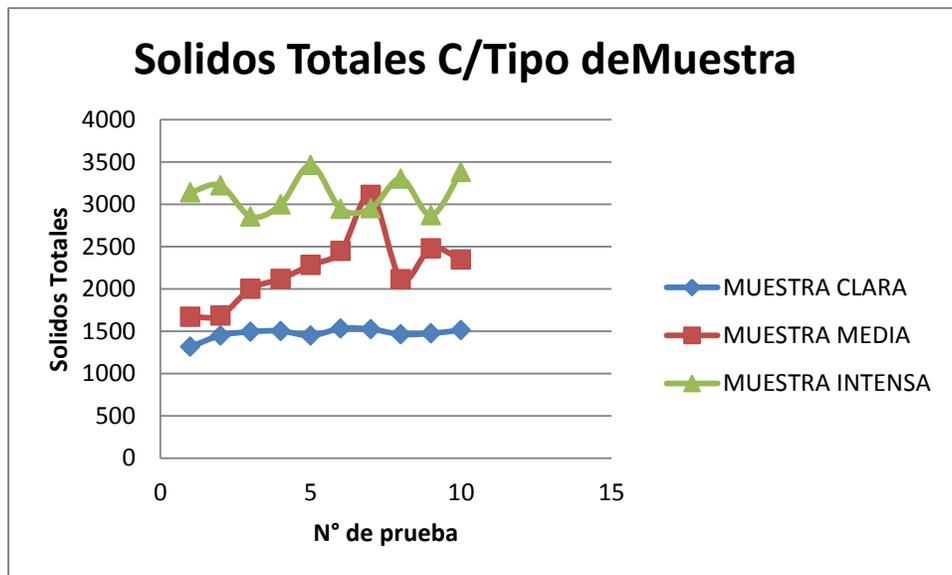
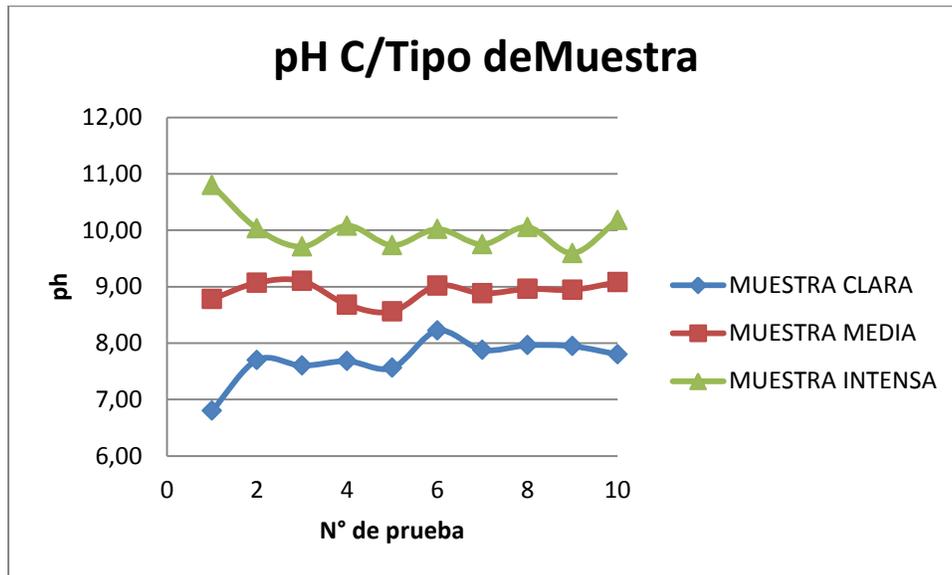
### CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MUESTRA

MUESTRAS CLARAS					
N° PRUEBA	FECHA	Ph	Sólidos Totales (mg/l)	Turbidez (NTU°)	DQO (mg/l)
1	6/08/2019	6,80	1315	3,92	785
2	13/08/2019	7,70	1449	4,32	809
3	20/08/2019	7,60	1493	3,10	785
4	27/08/2019	7,68	1502	3,61	749
5	3/09/2019	7,56	1448	4,45	690
6	10/09/2019	8,22	1531	3,56	689
7	17/09/2019	7,88	1523	3,56	664
8	24/09/2019	7,96	1462	3,75	749
9	1/10/2019	7,94	1473	3,59	785
10	8/10/2019	7,8	1513	3,22	809

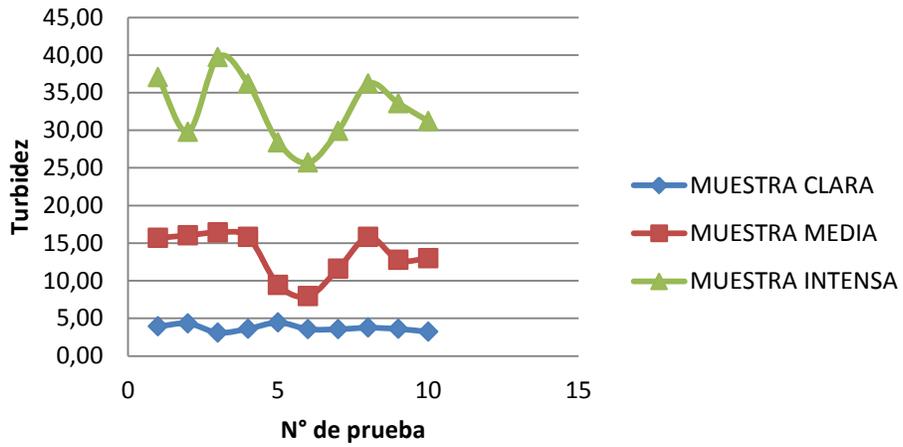
MUESTRAS MEDIAS					
N° PRUEBA	FECHA	Ph	Sólidos Totales (mg/l)	Turbidez (NTU°)	DQO (mg/l)
1	1/08/2019	8,78	1670	15,68	1245
2	08/08/2019	9,07	1686	16,04	1397
3	15/08/2019	9,10	2001	16,40	1387
4	22/08/2019	8,68	2117	15,80	1440
5	29/08/2019	8,56	2282	9,45	1402
6	5/09/2019	9,02	2448	7,96	1303
7	12/09/2019	8,88	3110	11,60	1450
8	19/09/2019	8,96	2113	15,80	1440
9	26/09/2019	8,94	2479	12,77	1420
10	3/10/2019	9,08	2344	12,98	1440

MUESTRAS INTENSAS					
N° PRUEBA	FECHA	Ph	Sólidos Totales (mg/l)	Turbidez (NTU°)	DQO (mg/l)
1	3/08/2019	10,80	3141	37,1	2320
2	10/08/2019	10,03	3221	29,8	2349
3	17/08/2019	9,71	2856	39,7	2378
4	24/08/2019	10,08	2995	36,21	2368
5	31/08/2019	9,73	3461	28,4	2450
6	7/09/2019	10,02	2944	25,7	2403

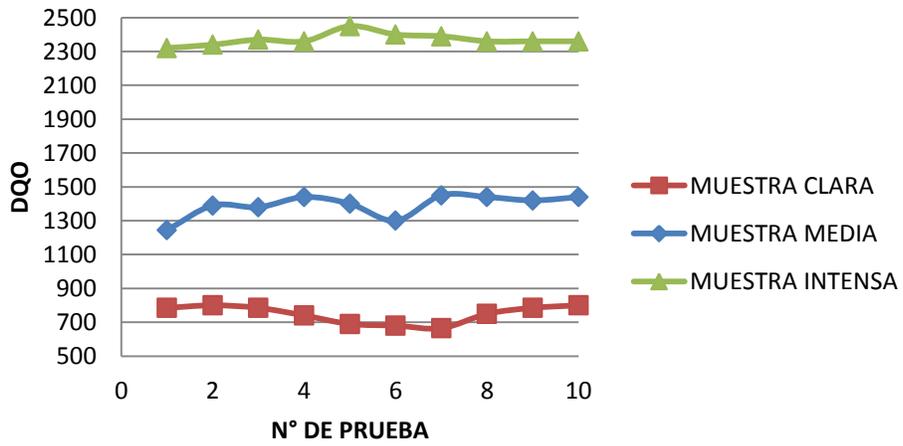
7	14/09/2019	9,75	2951	29,93	2390
8	21/09/2019	10,06	3301	36,2	2368
9	28/09/2019	9,59	2870	33,6	2361
10	5/10/2019	10,18	3381	31,2	2366



### Turbidez C/Tipo de Muestra



### DQO C/TIPO DE MUESTRA



## ANEXO D

### RESULTADOS DE ANALISIS DEL INSTITUTO DE CALIDAD AMBIENTAL LCA

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental

**LCA**  
Calidad Ambiental

Página 1 de 1

Informe de Ensayo: A 219/19

### INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A219/19

Cliente:	FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA - UMSA
Solicitante:	Diamela Wara García Lluito
Dirección del cliente:	Obelisco, C/Mariscal Santa Cruz
Procedencia de la muestra:	Senkata
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
	<b>Descarga de Maquinas</b>
Punto de muestreo:	Diamela Wara García Lluito
Responsable del muestreo:	16 de octubre de 2019
Fecha de muestreo:	16:21
Hora de muestreo:	17 de octubre de 2019
Fecha de recepción de la muestra:	Del 17 al 31 de octubre, 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Agua residual
Caracterización de la muestra:	Simple
Tipo de muestra:	Botella Pet
Envase:	219-1
Código LCA:	Agua de descarga
Código original:	

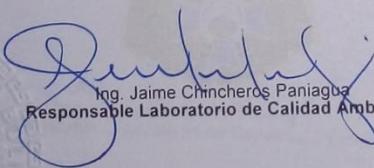
### Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Agua de descarga 219-1
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1764
DBO-5	EPA 405.1	mg/l	0,20	166
DQO	SM 5220-C	mg/l	5,0	785
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2,0	29
pH	EPA 150.1		1 - 14	7,4
Sólidos totales	EPA 160.3	mg/l	10	1449
Turbidez	EPA 180.1	UTN	0,10	3,9

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
EPA = Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 06 de 2019

  
Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c. Arch.  
JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Informe de Ensayo: A 257/19

**INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A257/19**

Cliente:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante:	Diamela Wara García Lluito
Dirección del cliente:	Obelisco, C/Marisc al Santa Cruz
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
	Laboratorio
Punto de muestreo:	Diamela Wara García Lluito
Responsable del muestreo:	05 de diciembre de 2019
Fecha de muestreo:	14:00
Hora de muestreo:	05 de diciembre de 2019
Fecha de recepción de la muestra:	Del 05 al 13 de diciembre, 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Agua tratada Fenton
Caracterización de la muestra:	Simple
Tipo de muestra:	Botella Pet
Envase:	257-1
Código LCA:	Agua tratada
Código original:	

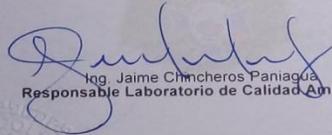
**Resultado de Análisis**

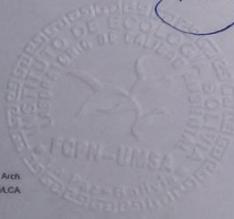
Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	Agua tratada 257-1
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	3200
DBO-5	EPA 405.1	mg/l	0,20	17
DQO	SM 5220-C	mg/l	5,0	132
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2,0	15
pH	EPA 150.1		1 - 14	4,8
Sólidos totales	EPA 160.3	mg/l	10	2163
Turbidez	EPA 180.1	UTN	0,10	0,48

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA = Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 19 de 2019

  
 Ing. Jaime Cimcheros Paniagua  
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: FACH,  
 JCH/LCA

## ANEXO E

### CALCULOS PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA

MUESTRA CLARA											
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	INICIAL				"FENTON"		FINAL			
		DQO (mg/l)	TURBIDEZ (NTU)	PH	ST (mg/l)	FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	DQO (mg/l)	TURBIDEZ (NTU)	PH	ST (mg/l)
1	1:10	785	3,9	3,06	1449	1,197	1,22	595	4,32	4,80	723
2	1:20	785	3,9	3,06	1449	0,598	1,22	400	3,21	5,89	787
3	1:30	785	3,9	3,06	1449	0,399	1,22	450	2,1	5,31	1050
4	1:40	785	3,9	3,06	1449	0,299	1,22	385	2,45	4,53	1212
5	1:50	785	3,9	3,06	1449	0,239	1,22	315	1,86	4,78	942
6	1:60	785	3,9	3,06	1449	0,199	1,22	300	1,08	4,64	996
7	1:70	785	3,9	3,06	1449	0,171	1,22	260	<b>0,91</b>	4,50	831
8	1:80	785	3,9	3,06	1449	0,149	1,22	285	1,96	4,36	1104
9	1:90	785	3,9	3,06	1449	0,133	1,22	335	<b>3,01</b>	4,22	1158
10	1:100	785	3,9	3,06	1449	0,119	1,22	400	4,06	4,08	888

MUESTRA MEDIA												
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	INICIAL				"FENTON"		FINAL				
		DQO (mg/l)	TURBIDEZ (NTU)	PH	ST (mg/l)	FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	DQO (mg/l)	TURBIDEZ (NTU)	PH	ST (mg/l)	
1	1:1	1440	15,8	4,8	2007	1,277	1,84	490	9,46	6,70	1723	
2	1:2	1440	15,8	4,8	2007	0,639	1,84	390	8,74	6,64	1798	
3	1:3	1440	15,8	4,8	2007	0,426	1,84	315	5,63	7,65	1426	
4	1:4	1440	15,8	4,8	2007	0,322	1,84	345	0,98	6,53	1500	
5	1:5	1440	15,8	4,8	2007	0,259	1,84	220	0,62	6,47	1575	
6	1:6	1440	15,8	4,8	2007	0,212	1,84	300	1,03	8,23	2244	
7	1:7	1440	15,8	4,8	2007	0,182	1,84	280	2,60	6,36	1043	
8	1:8	1440	15,8	4,8	2007	0,165	1,84	370	4,94	11,30	2318	
9	1:9	1440	15,8	4,8	2007	0,142	1,84	530	3,76	9,22	1860	
10	1:10	1440	15,8	4,8	2007	0,128	1,84	455	6,98	9,61	1894	

MUESTRA INTENSA											
N° PRUEBA	RELACION MOLAR	INICIAL				"FENTON"		FINAL			
		DQO (mg/l)	TURBIDEZ (NTU)	PH	ST (mg/l)	FESO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	DQO (mg/l)	TURBIDEZ (NTU)	PH	ST (mg/l)
1	1:1	2360	36,21	10,03	3635	1,276	1,8	510	4,80	6,24	1916
2	1:2	2360	36,21	10,03	3635	0,641	1,8	420	9,43	6,19	2165
3	1:3	2360	36,21	10,03	3635	0,425	1,8	365	1,50	6,13	3013
4	1:4	2360	36,21	10,03	3635	0,318	1,8	300	0,73	7,49	3123
5	1:5	2360	36,21	10,03	3635	0,255	1,8	465	1,30	8,05	2994
6	1:6	2360	36,21	10,03	3635	0,215	1,8	755	2,45	6,37	3264
7	1:7	2360	36,21	10,03	3635	0,180	1,8	570	5,29	6,13	3454
8	1:8	2360	36,21	10,03	3635	0,161	1,8	600	7,70	6,30	1934
9	1:9	2360	36,21	10,03	3635	0,139	1,8	880	14,65	7,78	2001
10	1:10	2360	36,21	10,03	3635	0,130	1,8	830	22,30	7,23	1995

**ANEXO F**

**REGISTRO SENAPI**



DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS  
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-514/2021  
La Paz, 4 de Febrero del 2021

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 28 de Enero del 2021, por DIAMELA WARA GARCÍA LLUITO, con C.I. N° 10953322-LP, con número de trámite DA-246/2021, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TINTORERÍA POR PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA EN LA EMPRESA TEXTIL ALTIFIBERS S.A.", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO**

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todas sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adaptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios".

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial".

Oficina Central - La Paz  
Calle 6 de Octubre, N° 583  
entre Ayacucho y Junín,  
Galería Central,  
Ofi. 14 (Ex Banco Fie)

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560,  
Edif. Multicentro El Ceibo Ltda.  
Piso 2, Of. 5B,  
zona 16 de Julio.

Oficina - Cochabamba  
Calle Chuquisaca, N° 649,  
Piso 2, entre Antezana y Lanza,  
zona Central - Noroeste.

Oficina - Santa Cruz  
Av. Las Américas N° 7,  
esquina Saavedra,  
Edif. Torres (AINCO),  
Planta Baja.

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
calle esq. Umiyagollia,  
zona Parque Bolívar.

Oficina - Tarija  
Calle Ingavi N° 385  
entre Santa Cruz  
y Méndez,  
Zona La Pompa.

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 583  
entre Ayacucho y Junín,  
Galería Central,  
Ofi. 14 (Ex Banco Fie)

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

**POR TANTO**

La Directora de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

**RESUELVE:**

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TINTORERIA POR PROCESO DE OXIDACION AVANZADA EN LA EMPRESA TEXTIL ALTIFIBERS S.A.", a favor de la autora y titular: DIAMELA WARÁ GARCÍA LLUITO, con C.I. N° 10953322-LP, bajo el seudónimo WARÁ, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

Abg. Gabriela Arancibia Peredo  
DIRECTORA DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS

SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

648/mamam  
v.r. Arch.

Oficina - La Paz  
Av. Sucre N° 1000  
Edif. "El Comercio"  
Piso 2, Of. 58  
Tel. 26100000 - 26100001

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560,  
Edif. "Militarismo El Ceibo II",  
Piso 2, Of. 58,  
Zona 16 de Julio.

Oficina - Cochabamba  
Calle Chuquisaca, N° 609,  
Piso 2, entre Arce y Lanza,  
Zona Central - Noroeste.

Oficina - Santa Cruz  
Av. Las Américas N° 7,  
esquina Saavedra,  
Edif. Torres CAIICO,  
Planta Baja.

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 356  
cas. esq. Urdogoitia,  
zona Parque Bolívar.

Oficina - Tarija  
Calle Ingavi N° 385  
entre Santa Cruz  
y Méndez,  
Zona La Pampa.

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 6837  
entre Ayacucho y Junín,  
Galería Central,  
Of. 11 (Ex-Banco de

Nombre: Diamela Wara Garcia Lluito  
Cel: 72548674  
Correo: warad\_garciall@hotmail.com