

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FENTON A NIVEL
LABORATORIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA EMPRESA AGUAS SAN JUAN S.A.S ESP**

**MARCO STIVEN BECERRA DÍAZ
SEBASTIAN FELIPE CADENA IBAÑEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FENTON A NIVEL
LABORATORIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA EMPRESA AGUAS SAN JUAN S.A.S ESP**

**MARCO STIVEN BECERRA DÍAZ
SEBASTIAN FELIPE CADENA IBAÑEZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Orientador
Edgar Fernando Moreno Torres
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN (Dirección de Programa)

Ingeniero Edgar Fernando Moreno Torres
Orientador

Ingeniera Diana Marcela Cuesta Parra
Jurado

Microbióloga Adriana Inés Páez Morales
Jurado

Bogotá, D.C. Noviembre 3 de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario general

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

I.Q Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Les agradecemos primeramente a Dios por darnos sabiduría e inteligencia, brindarnos la fuerza y herramientas necesarias para desarrollar este proyecto de grado.

A nuestras familias, que desde el comienzo han estado presentes para impulsarnos a alcanzar cada una de las metas y objetivos propuestos.

A los docentes que en este andar influyeron con sus lecciones y experiencias en formarnos para la vida profesional, a todos y cada uno de ellos gracias por la ayuda brindada en cada momento de esta etapa.

A Fernando Moreno y a Diana Cuesta que con ayuda, apoyo y paciencia de ellos fue posible desarrollar el proyecto de grado.

A la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP por permitirnos acceder a ella para realizar las pruebas en el laboratorio y recibir consejos de ingenieros para agilizar el proceso.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 AGUAS RESIDUALES	21
1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS	21
1.2.1 Pretratamiento.	22
1.2.2 Tratamiento primario.	23
1.2.3 Tratamiento secundario.	23
1.2.4 Tratamiento terciario.	24
1.3 OXIDACIÓN AVANZADA	24
1.4 REACTIVO FENTON	26
2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS AGUAS	28
2.1 CARACTERIZACION DEL AGUA	28
2.2 MARCO LEGAL DE VERTIMIENTOS	28
2.2.1 Resolución 0631 de 2015.	29
2.3 COMPARACION DE MUESTRA CON MARCO LEGAL	29
3. DESARROLLO DEL MÉTODO EXPERIMENTAL	32
3.1 METODOLOGIA DE EXPERIMENTACIÓN	32
3.1.1 pH.	33
3.1.2 Temperatura.	33
3.1.3 Relaciones de DQO/H ₂ O ₂ .	33
3.1.4 Relación de H ₂ O ₂ /Fe ⁺² .	33
3.1.1 Ensayo pre-experimental.	34
3.1.2 Resultados de la pre-experimentación.	41
3.1.2.1 Primera prueba.	41
3.1.2.2 Segunda prueba.	41

3.1.2.3 Tercera prueba.	42
3.1.3 Desarrollo del diseño de experimentos.	43
3.1.3.1 Diseño de experimentos.	44
3.2 EXPERIMENTACIÓN	45
3.2.1 Resultados de la experimentación.	50
4. EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL REACTIVO FENTON PARA LA DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	54
5. ANÁLISIS DE COSTOS	58
5.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN	58
5.2 ANÁLISIS DE DEPRECIACIÓN DE LA INVERSION ASIGNADA AL TANQUE DE REACCIÓN	60
5.3 ANÁLISIS DE DEMANDA	61
5.4 ANÁLISIS FINANCIERO	62
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	67

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tecnologías avanzadas de oxidación	25

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación de dosis	37
Ecuación 2. Cálculo de eficiencia	43

LISTA DE IMAGENES

	pág.
Imagen 1. Diagrama de bloques de la planta Aguas San Juan S.A.S	31
Imagen 2. Test de jarras	35
Imagen 3. PH metro portátil	35
Imagen 4. Fótometro HI 83099	36
Imagen 5. Reactor HI 839800	36
Imagen 6. Exceso de Fe ⁺²	37
Imagen 7. Exceso de H ₂ O ₂	38
Imagen 8. Proceso de tratamiento de agua	49

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Metodología del reactivo Fenton	34
Figura 2. Condiciones de Pre-experimentación	38
Figura 3. Relación de concentración	39
Figura 4. Procedimiento Pruebas Pre-experimentales	40
Figura 5. Condiciones experimentales de reactivo Fenton	46
Figura 6. Experimentación de reactivo Fenton	47
Figura 7. Procedimiento experimental de reactivo Fenton	48

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Primera prueba	41
Gráfica 2. Segunda prueba	42
Gráfica 3. Tercera prueba	42
Gráfica 4. Comparación de las pruebas del reactivo Fenton	51
Gráfica 5. Eficiencia de las pruebas	55
Gráfica 6. Eficiencia del color del agua	57
Gráfica 7. Cantidad demandada	61

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Diagnóstico del agua	28
Tabla 2. Comparación del diagnóstico con la resolución	29
Tabla 3. Eficiencia de las pruebas pre-experimentales	43
Tabla 4. Análisis de varianza	44
Tabla 5. Análisis de pruebas	44
Tabla 6. Distribución F	45
Tabla 7. Resultado de las pruebas	50
Tabla 8. Resultados de DQO para cada prueba	52
Tabla 9. Colorimetría del agua de beneficio para cada prueba	52
Tabla 10. Resultados de los coagulantes usados en la planta	54
Tabla 11. Eficiencia de las pruebas del DQO	55
Tabla 12. Eficiencia de las pruebas de color del agua	56
Tabla 13. Inversión al tanque de reacción	58
Tabla 14. Precio unitario por reactivo.	59
Tabla 15. Costos variables	59
Tabla 16. Costos fijos de operación mensual	60
Tabla 17. Depreciación de equipos.	60
Tabla 18. Tratamiento anual del agua	61
Tabla 19. Flujo de caja libre	62
Tabla 20. Predicción de TIR y VPN	62

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Cálculos del diseño de experimentos	68
Anexo B. Resultados de las pruebas	69
Anexo C. Muestra de agua cruda	87
Anexo D. Metodología para el PAC y Sulfato de hierro	88
Anexo E. Datos de seguridad	89

ABREVIATURAS

DQ_i: Demanda química inicial

DQ_f: Demanda química final

DQO: Demanda química de oxígeno

DBO: Demanda biológica de oxígeno

η : Eficiencia

PAOs: Procesos avanzados de oxidación

SST: Sólidos suspendidos totales

TAOs: Tecnologías avanzadas de oxidación

TRM: Tasa representativa de mercado

TIR: Tasa interna de retorno

VPN: Valor presente neto

GLOSARIO

CONDUCTIVIDAD: es la habilidad que tiene una sustancia de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido.

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO: cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica presente en el agua.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: cantidad de oxígeno requerido para llevar a cabo la oxidación de las sustancias solubles en el agua.

EFLUENTE: corriente de agua residual que sale de un proceso de tratamiento.

SÓLIDOS DISUELTOS: representan el material soluble y coloidal, el cual requiere de tratamientos como oxidación biológica o coagulación y sedimentación para su remoción.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES: es la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un volumen determinado de agua.

TURBIEDAD: es la medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del medio por efecto de la materia suspendida y coloidal contenida.

VERTIMIENTO: descarga final hecha a un cuerpo de agua o a una red de alcantarillado.

RESUMEN

La empresa Aguas San Juan ESP se dedica hacer tratamientos de aguas residuales provenientes de diferentes procesos.

Los vertimientos del agua de beneficio, se caracterizan por el alto contenido de materia orgánica e inorgánica, entre las cuales se encuentran grasas, cloruros, sólidos suspendidos, tenso-activos. Se realizó la caracterización del agua residual, para ello se tomó la muestra de vertimientos de la industria avícola y pecuaria.

Para el comienzo de esta etapa, se realizó una pre-experimentación en donde se evaluaron las condiciones de operación y se determinaron las variables. El método Fenton se realizó en condiciones de operación a un pH de rango 2,7 a 3,1, temperatura de 20°C, con las cuales se determinó las relaciones DQO/H_2O_2 y H_2O_2/Fe^{+2} para cada experimento.

Para determinar la remoción de materia orgánica se hizo una medición de demanda química de oxígeno (DQO) al inicio y al final de la experimentación al igual se realizó el análisis de colorimetría para establecer la dosis adecuada del reactivo Fenton en función del DQO y se evaluó la eficiencia de la oxidación de materia orgánica con el fin de comparar el reactivo Fenton con respecto a los métodos convencionales usados en la planta los cuales son policloruro de aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio.

El tiempo de operación fue de 75 minutos repartidos en 45 minutos utilizando test de jarras con sistemas de agitación y mezcla con regulador de velocidad y 30 minutos para la sedimentación. La mejor relación fue $DQO/H_2O_2 = 2,1$ y $H_2O_2/Fe^{+2} = 0,6$ para una oxidación de materia orgánica del 92,133% y una remoción de color del 99,40%.

PALABRAS CLAVE: Agua de Beneficio, Reactivo Fenton, Oxidación avanzada, Análisis de colorimetría, DQO, PAC, Sulfato de Aluminio, Sulfato de Hierro heptahidratado, Peróxido de hidrogeno.

INTRODUCCIÓN

La problemática del mundo radica en el uso excesivo del agua en las industrias para sus operaciones generando vertimientos, al no recuperar el agua generada por las industrias, conlleva altas contaminaciones de este recurso afectando los ecosistemas, fauna y flora, ríos y la calidad de vida de los seres vivos. Al continuar así, se crea problemas sociales y económicos debido a la falta de este recurso.

Los métodos convencionales empleados en tratamiento de aguas son usados en efluentes industriales con bajo nivel de cargas orgánicas como lo es: pre-tratamiento, coagulación-floculación, adsorción, etc. En algunos casos estos métodos no son eficientes o no es viable económicamente, debido a que existen transferencias de contaminantes de una fase a otra, también se puede encontrar sustancias no biodegradables impidiendo el uso de estos métodos.

Como estudio del proyecto se tienen aguas residuales provenientes de industrias pecuarias, avícolas con cargas orgánicas altas, al tratarlas con los métodos convencionales no facilita su disposición o reutilización. Al contener DQO elevado se es posible desarrollar este proyecto.

Los métodos de oxidación avanzada son una alternativa factible para tratamiento de aguas residuales industriales, un ejemplo de procesos de oxidación es el método Fenton, el cual consiste en una reacción con H_2O_2 con un catalizador $Fe(II)/Fe(III)$ al momento de reaccionar genera cargas libres del OH^- permitiendo oxidar contaminantes orgánicos, formando CO_2 , agua, sales inorgánicas y oxígeno.

Este documento registra los resultados a nivel laboratorio del método Fenton para la remoción de materia orgánica del agua residual, con esta evaluación se propone una alternativa para el tratamiento de aguas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa AGUAS SAN JUAN S.A.S ESP.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del agua residual en la empresa AGUAS SAN JUAN S.A.S ESP.
- Establecer las condiciones de operación requeridas en el método Fenton.
- Evaluar la eficiencia del método Fenton para degradación de material orgánico e inorgánico.
- Realizar un análisis de costos del proyecto.

1. GENERALIDADES

Es importante el buen uso del agua para el medio ambiente, parte de esto ha generado cambios en la normatividad debido a ser un recurso natural no renovable. Esto crea implementación de nuevas tecnologías para tratamientos de agua residual. En detalle el proyecto evalúa el método Fenton para el tratamiento de agua residual de la empresa Aguas San Juan ESP.

1.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son mezclas de agua cuya calidad es afectada por influencias antropogénica, estas incluyen aguas domésticas, urbanas, entre otras. Es importante requerir sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Para ello se conducen a las plantas donde se realizan los debidos tratamientos para que el agua sea devuelta al medio ambiente en las mejores condiciones posibles.

Existen pueblos y ciudades del país que aun sin conocer, vierten sus aguas residuales directamente a los ríos, esta conducta ha provocado enfermedades o muerte de seres vivos.

1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS

Toda industria en general produce agua de vertimientos que es necesario devolver al medio ambiente, estas aguas de vertimiento tienen su clasificación: aguas de vertimiento doméstico, aguas de vertimiento de procesos, aguas de vertimiento de enfriamiento. Estas características tienen:

- **Compuestos inorgánicos:** tienen como fuente el agua blanda y agua dura. La mayoría de casos, los procesos industriales agregan compuestos inorgánicos a las aguas de vertimiento, para el tratamiento. La biodegradación de los compuestos orgánicos requiere cantidades adecuadas de fosforo, hierro, nitrógeno y sales acumuladas¹.
- **Compuestos orgánicos:** estos son los responsables en mayoría de los problemas de contaminación, causan un efecto negativo o positivo, dependiendo de su biodegradabilidad sobre el medio ambiente. Los compuestos orgánicos solubles en el agua y de bajo peso molecular se biodegradan por la acción de las bacterias y los hongos por el consumo de oxígeno presente. A medida que se incrementa la complejidad de las moléculas orgánicas, disminuye su solubilidad y biodegradabilidad.
- **pH y alcalinidad:** las aguas de desperdicio deben tener valores de pH que varían entre 6 y 9 para que el impacto sea mínimo en el medio ambiente. Estos

¹ PERRY H, Robert. Manual del Ingeniero Químico, Sexta edición. México: McGraw-Hill. Cap. 26-42

rangos se establecen debido a que, si el pH es inferior a 6, el agua tiende a ser corrosiva, exceso de iones de hidrogeno. En el otro caso, si se eleva el pH por encima de 9, algunos iones metálicos precipitan como carbonatos o hidróxidos.

- Oxígeno disuelto: se ve implicado en el medio ambiente siendo una propiedad básica en lagos y ríos proveniente de vertimientos industriales. Por esto la vida acuática requiere niveles adecuados de oxígeno disuelto.
- Temperatura: se genera contaminación térmica si los vertimientos de agua superan los 30°C según la (Resolución 3957 de 2009²), puesto que si se vierte de este modo la temperatura de los ecosistemas varia, lo cual es nocivo para algunos microorganismos.

1.2.1 Pretratamiento. No todas las aguas de vertimientos industriales necesitan de un pretratamiento, sin embargo, en los pretratamientos se tiene en cuenta cuando éstas pueden tener un efecto adverso sobre el tratamiento total, su finalidad es acondicionar el agua de vertimiento para las etapas siguientes de tratamiento. Los métodos de pretratamientos que se practican son los siguientes:

- Desarenador: Es una estructura hidráulica que tiene como función remover partículas sólidas que la captación de una fuente superficial permite pasar. Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.
- Eliminación de grasas y aceites: es indispensable hacer uso de esta prueba, por lo que grasas y aceites forman capas insolubles con el agua puesto que son hidrofóbicos. Estos se pueden separar de la fase acuosa por gravedad y eliminación de nata, teniendo en cuenta que no estén emulsionadas con el agua antes de separarlos. También se utilizan trampa de grasas para separar por densidad.
- Eliminación de sustancias toxicas: la norma ambiental impide que las industrias descarguen sustancias toxicas en los cuerpos de vertimientos. Favorablemente los compuestos orgánicos tóxicos se eliminan por varios sistemas de oxidación química.
- Igualación: es uno de los más importantes, y la descarga de desperdicios concentrados es la más adecuada, controla las variaciones de concentración para un tratamiento continuo del agua.

² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Resolución 3957 (19/6/2009). Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital. Bogotá: El ministerio, 2009.

- Neutralización: las aguas son de tipo acida o básica, las cuales se deben neutralizar antes de su descarga, casos donde las industrias producen desperdicios tanto acidas como básicas, estas pueden ser mezcladas para obtener niveles neutros de pH.
- Trampa de grasas: Es un dispositivo especial que se utiliza para separar los residuos sólidos y las grasas que bajan por los artefactos de lavado y de preparación de alimentos, hoteles, plantas de producción y procesos industriales.

1.2.2 Tratamiento primario. El tratamiento del agua residual se hace con el fin de eliminar los contaminantes con el mínimo esfuerzo, los sólidos en suspensión se eliminan mediante técnicas de separación físicas o químicas. Estos tratamientos se hacen mediante equipos o métodos como lo son:

- Cámaras de arena: en ocasiones es necesario utilizar este método porque en algunas industrias contienen aguas contaminantes con arena o partículas inertes, para una separación rápida de éstas.
- Precipitación química: sólidos en suspensión y sólidos coloidales se pueden eliminar por medio de este proceso y sedimentación por gravedad. La precipitación química se utiliza para agrupar los sólidos pequeños formando partículas más evidentes que se asientan rápidamente en los tanques de sedimentación. Como coagulante se utiliza cal, cloruro ferroso, sulfato de aluminio, sulfato ferroso y los polielectrólitos.
- Sedimentador: El sedimentador es un dispositivo empleado para el asentamiento y remoción de partículas suspendidas que ocurre cuando el agua se estanca, se detiene o fluye lentamente mediante un estanque. Los sólidos que sedimentan son de mayor densidad que la del agua, por lo tanto son depositadas en el fondo del tanque formando una capa de lodo. El agua que llega al orificio de salida del tanque se presentara en condición de agua clarificada.
- Sedimentación por gravedad: este proceso aprovecha la gravedad por efecto para separar solidos presentes en el agua residual o ya sea en algún fluido. Cabe aclarar que al suceder esto, la densidad del solido es mayor a la densidad del fluido.

1.2.3 Tratamiento secundario. Está diseñado para la eliminación de compuestos orgánicos solubles y coloidales por medio del metabolismo de los microbios. Los sistemas de tratamiento biológicos convierten los compuestos orgánicos biodegradables en solución en compuestos orgánicos en suspensión, que al ser floculados se eliminan al sedimentarse por gravedad. También están los

tratamientos terciarios, entre estos tratamientos, se encuentran los tratamientos y procesos de oxidación avanzada.

1.2.4 Tratamiento terciario. El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor. Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento.

- Filtro de arena: La utilización de los filtros de arena se hace imprescindible cuando se desea acondicionar aguas que contengan gran cantidad de materias orgánicas y algas, tales como las que arrastran las aguas procedentes de embalses abiertos y canales.
- Filtro de carbón activado: Los filtros de carbón activado de soluciones para agua son la mejor opción para tratar el agua. Estos equipos están especialmente diseñados para remover el cloro y la materia orgánica que es la causante del mal olor, color y sabor en el agua. También remueve orgánicos como fenoles, muchos pesticidas y herbicidas del agua. La activación del carbón produce una excelente superficie de filtración y le permite al carbón activado tener una gran capacidad de absorción de impurezas del agua.
- Filtro de antracita: La antracita es un excelente medio de filtración para clarificación del agua en uso potable o industrial, cuando es usada en combinación con arenas filtrantes. Debido a la forma especial de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. En comparación con un filtro de arena, este medio filtrante permite un desempeño en el filtro de mayor flujo, menos caída de presión y un mejor y rápido retrolavado.

1.3 OXIDACIÓN AVANZADA

En cualquier tratamiento de agua residual es muy importante la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas del efluente a tratar. El agua es un recurso natural indispensable para los seres vivos, puede ser descontaminada mediante procesos de tratamiento, plantas de tratamiento biológico, por adsorción con carbón activado, u ozonización, permanganato de potasio, etc.).

Sin embargo, en muchos casos estos tratamientos no son eficientes para la remoción de contaminantes, sin alcanzar el grado de pureza requerido por la normatividad para el vertimiento al medio ambiente o el uso posterior del agua. En estos casos en donde los tratamientos convencionales no son suficientes, se están implementando las tecnologías o procesos avanzados de oxidación (TAOs ó PAOs), muy poco aplicados y difundidos en los países de América Latina. La mayoría de las TAOs puede aplicarse a la remediación y detoxificación de aguas

especiales, generalmente en pequeña o mediana escala. Los métodos pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales. Otra de las aplicaciones importantes es la inactivación de bacterias y virus resistentes a los métodos empleados para su eliminación, como son la desinfección debido a que son microorganismos muy resistentes a técnicas convencionales.

Los procesos de oxidación avanzada producen cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Los PAOs como procesos que involucran la generación y uso de especies químicas transitorias poderosas. Principalmente el radical hidroxilo (OH^\cdot). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (luz solar) o por otras formas de energía, posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunos TAOs, 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 halogenados³.

El **Cuadro 1.**, muestra la clasificación de algunas TAOs en procesos no fotoquímicos y procesos fotoquímicos.

Cuadro 1. Tecnologías avanzadas de oxidación

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino (O_3/OH^-)	Oxidación en agua sub/ y supercrítica
Ozonización con Peróxido de hidrogeno ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$)	Procesos fotoquímicos
Procesos Fenton ($\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$) y relacionados	Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)
Oxidación electroquímica	UV/peróxido de hidrogeno
Radiólisis γ y tratamiento con haces de electrones	Foto-Fenton y relacionadas
Plasma no térmico	Fotocatalisis heterogénea
Descarga electrohidráulica-Ultrasonido.	

Fuente: **DOMÉNECH**, Xavier, **JARDIM**, Wilson F. y **LITTER**, Marta I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. [En línea]. Disponible en: <<http://cnea.gov.ar/XII/ambiental/CITED/06cap01.pdf>>

Estas tecnologías pueden ser empleadas como pretratamiento o pos-tratamiento, según la preferencia de quien lo utilice.

Cuando se emplean los procesos que involucran el radical OH^\cdot , existe una factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación incrementada, esta

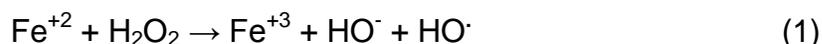
³ **DOMÉNECH**, Xavier, **JARDIM**, Wilson F. y **LITTER**, Marta I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. [En línea]. Disponible en: <<http://cnea.gov.ar/XII/ambiental/CITED/06cap01.pdf>>

especie posee propiedades adecuadas para atacar compuestos orgánicos, ya que presenta un potencial de oxidación alto.

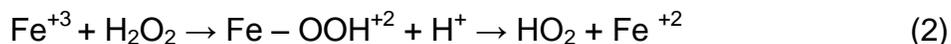
1.4 REACTIVO FENTON

En el siglo XIX los ensayos para la oxidación de compuestos altamente resistentes a otras técnicas, fueron realizados por Henry J.H. Fenton, que dieron como resultado el conocimiento al mundo del reactivo Fenton, que se basa en soluciones de peróxido de hidrogeno y sales ferrosas, que son capaces de oxidar ácidos y compuestos orgánicos muy complejos como alifáticos y aromáticos clorados, nitro aromáticos, colorantes azo, clorobenceno, fenoles, fenoles clorados, octacloro-p-dioxina y formaldehído. Otra de las características importantes es que reduce importantemente la DQO en las aguas donde se utiliza el reactivo. La reacción de método Fenton forma radicales OH^\cdot que pueden reaccionar por dos vías, la oxidación de hierro (II), que es una reacción indeseada y el ataque a la materia orgánica⁴.

La reacción entre el hierro (II) y el peróxido de hidrogeno en medio ácido da paso a la oxidación del hierro (II) a hierro (III) y a la formación de radicales OH^\cdot de acuerdo a la reacción 1. Esta reacción tiene lugar de forma espontánea y en ausencia de luz.



Sin embargo la reacción 1 no es la explicación completa del sistema. A un pH ácido en un rango de 2 – 4, la reacción del Fe^{+3} a Fe^{+2} es posible según las reacciones 2 y 3.



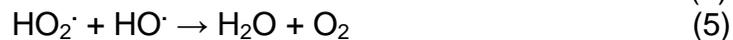
Teniendo estas reacciones se puede llegar a la regeneración del Fe^{+2} , que puede volver a involucrarse en la reacción 1, para generar nuevos radicales hidroxilo.

Para llevar a cabo la utilización del reactivo Fenton se tienen en cuenta varios parámetros que influyen en el proceso, que son:

- pH
- Relación $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$
- Temperatura
- Concentración de iones inorgánicos

⁴ INGAR – GRUPO FENTON. Tratamiento químico de contaminantes orgánicos persistentes, proceso Fenton intensificado. Santa Fe Argentina. [En línea]. Disponible en: <<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/argentina14/martinez.pdf>>

Dentro de las condiciones, se requiere una adición estequiometria de Fe(II) y H₂O₂, puesto que un exceso de H₂O₂ causa la formación del radical hidroperóxido y puede establecer condiciones no adecuadas y efectos retardantes por el exceso de Fe(II) en la reacción, de acuerdo con las reacciones (4)⁵, (5)⁵ y (6)⁵, para la oxidación de la materia orgánica.



⁵ Blanco Jurado Jose. Degradacion de un efluente textil real mediante procesos Fenton y foto-Fenton. Universitat Politecnica de Catalunya. 2009. Paginas (10-14).

2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS AGUAS

La empresa Aguas San Juan ESP se dedica hacer tratamientos de aguas residuales provenientes de industria avícola, pecuaria, domésticas e industriales. El proceso cuenta con un caudal de 2 L/s del agua de beneficio, consiste en un pretratamiento donde retiene o elimina grasas presentes en el agua en equipos de tamices y rejillas. Luego se realiza el tratamiento primario para eliminar los sólidos suspendidos y sedimentables por medio de un tanque mezclador el cual se adiciona los coagulantes y floculantes, en seguida pasa por un sedimentador rectangular y trampa de grasas. La última etapa consiste en un reactor biológico el cual se encarga de la eliminación de materia orgánica, seguido de una sucesión de filtros.

Los vertimientos del agua beneficio, se caracterizan por el alto contenido de materia orgánica e inorgánica, entre las cuales se encuentran grasas, cloruros, sólidos suspendidos, tenso-activos.

Iniciando con el desarrollo del primer objetivo en el proyecto, se realizó la caracterización del agua residual, para ello se tomó la muestra de agua residual de la industria de beneficio.

2.1 CARACTERIZACION DEL AGUA

Para el estudio del proyecto se tomó la muestra de agua residual en la industria de beneficio. Para la caracterización se tomaron las muestras que se observa en el anexo C, de los residuos líquidos se generaron los siguientes datos del análisis de laboratorio, que se observa en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Diagnóstico del agua

Parámetro	Unidades	Resultados
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	122
Ph	Unidad	7,46
Hierro	mg/L Fe	4,83
DBO ₍₅₎	mg/L	784
DQO	mg/L	1233
Sólidos suspendidos totales	mg/L	210
Turbiedad	UNT	1,5
Temperatura	°C	16,8
Color	PCU	500

Fuente: Análisis de laboratorio Hidrolab Bogotá Junio 2016

2.2 MARCO LEGAL DE VERTIMIENTOS

En el desarrollo del proyecto, se tiene en cuenta las consideraciones establecidas en la siguiente Resolución que rige como autoridad legal en Colombia.

2.2.1 Resolución 0631 de 2015. Establece los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad con el artículo 18 de la presente resolución⁶.

A partir de esta resolución se tienen los parámetros máximos permisibles por el estado colombiano, para comparar las aguas residuales ubicadas en la empresa Aguas San Juan ESP.

2.3 COMPARACION DE MUESTRA CON MARCO LEGAL

Los datos conseguidos en la **Tabla 1.**, Se muestra el análisis obtenido por la empresa Hidrolab, según lo anterior se realiza una previa comparación teniendo en cuenta los parámetros rígidos por la nueva Resolución¹, en la **Tabla 2.**, se muestra una comparación de los resultados del laboratorio y la Resolución.

Tabla 2. Comparación del diagnóstico con la resolución

Parámetro	Unidades	Resultados	Resolución 0631 de 2015	Aprobado
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	122	Análisis y reporte	
pH	Unidad	7,46	6 – 9	Si cumple
Hierro	mg/L Fe	4,83	Análisis y reporte	
DBO ₍₅₎	mg O ₂ /L	784	250	No cumple
DQO	Mg O ₂ /L	1233	500	No cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	210	150	No cumple
Turbiedad	UNT	1,5	0,5	No cumple
Temperatura	°C	16,8	40	Si cumple
Color	PCU	500	< 15	No cumple

Fuente: Análisis de laboratorio Hidrolab Bogotá Junio 2016

El análisis de las aguas de beneficio realizadas por el laboratorio Hidrolab y comparada con la Resolución 0631 de 2015 se indica un incumplimiento de

⁶ Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. [Citado en 09 de agosto de 2016]. [En línea]. Disponible en: http://www.fenavi.org/images/stories/estadisticas/article/3167/Resolucion_0631_17_marzo_2015.pdf

demanda química de oxígeno (DQO). Estos resultados son a tener en cuenta para el proceso a desarrollar.

La evaluación de la oxidación de materia orgánica a partir de un método de oxidación avanzada, conocida como el reactivo Fenton supliendo el método convencional que impide la remoción de materia orgánica. Teniendo en cuenta que la empresa cumple con los parámetros establecidos de la normatividad⁷.

La **Imagen 1.**, se observa el paso a paso que realizan en la planta Aguas San Juan donde maneja un caudal de 2 L/s de agua de beneficio. La empresa consta de un desarenador convencional, el cual tiene como función remover las partículas que tengan un tamaño superior de 0,15 mm, luego pasa por una trampa de grasas se encarga de retener por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación el material graso. El tanque de mezclado es donde se agrega el coagulante para que forme el floc, pasa al sedimentador horizontal para la sedimentación de sólidos pesados, luego se almacena en un tanque dando paso al siguiente proceso del reactor de mezclado por aireación en donde se agrega el floculante con lo cual hace que los floculós ya formados aumenten su volumen y peso para que así puedan decantar. Luego comienza con la operación de filtración el cual consta de un filtro de arena, carbón activado y antracita, para finalizar se realiza una nano filtración. La filtración se realiza para separar sólidos, el caudal de salida es aproximadamente 0,9 L/s siendo lo demás lodos para almacenar. Luego se almacena el agua tratada para su previo análisis.

⁷ Resolución 0631 de 2015 del nisterio de Ambiente y desarrollo sostenible. [Citado en 25 de agosto de 2016]. [En línea]. Disponible en:
<http://www.fenavi.org/images/stories/estadisticas/article/3167/Resolucion_0631_17_marzo_2015.pdf>

Imagen 1. Diagrama de bloques de la planta Aguas San Juan S.A.S



3. DESARROLLO DEL MÉTODO EXPERIMENTAL

En este capítulo se muestra el método de oxidación avanzada conocido como reactivo Fenton a nivel de laboratorio para ajustar el pH, la relación de DQO/H₂O₂ y H₂O₂/Fe⁺² para determinar las condiciones de la reacción para cada operación. Para el inicio de esta etapa, se realizó una pre-experimentación en donde se evaluaron las condiciones de operación y se determinaron las variables.

Para determinar la oxidación de materia orgánica se ejecutó una medición de demanda química de oxígeno (DQO) al inicio y al final de la experimentación con intervalos de tiempos a cada prueba realizada en el laboratorio. De igual forma se realizó la medición de DQO a final de cada prueba.

La DQO es apropiada para la oxidación completa de todos los compuestos orgánicos⁸, según lo mencionado se tomó el DQO para evaluar la eficiencia del reactivo Fenton. El DBO₅ se toma para la cantidad de materia orgánica que se puede biodegradar a partir de microorganismos, mientras que el DQO muestra la cantidad de materia que se puede oxidar tanto biodegradable como no biodegradable.

El agua de beneficio de Aguas San Juan ESP no solo presenta materia orgánica, sino que además presenta materia inorgánica. La oxidación de estos materiales depende de que tan compleja sea su molécula, para lograr la oxidación de algunos se puede hacer mediante procesos biológicos o químicos, el reactivo Fenton se desempeña en realizar una oxidación total a los compuestos orgánicos mediante radicales OH⁻. Los compuestos inorgánicos en el agua se oxidan químicamente, algunos forman óxidos y otras sales que precipitan en el agua.

3.1 METODOLOGIA DE EXPERIMENTACIÓN

En esta metodología se planteó los parámetros que se tienen en cuenta en el proyecto para evaluar las condiciones y operaciones del reactivo Fenton, para ello se realizó una revisión bibliográfica en donde diversos autores proponen unas condiciones de operación^{9, 10, 11}, las cuales son las siguientes:

⁸ Perry H, Robert. Manual del Ingeniero Químico, Sexta edición, Mexico, McGrawHill. 2006. Cap 26-41

⁹ Rodriguez, R., Flesler, F., & Lehmann, V. (2010). Oxidación avanzada sistema Fenton en tratamiento de efluentes industriales de alta carga orgánica. Inti Ambiente.

¹⁰ Mendez Novelo Roger Ivan, Pietrogiovanna Bronca José, Santos Ocampo Beatriz, Castillo Borges Elba. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fentonadsorción

¹¹ Blanco Jurado José. Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton. universidad politécnica de Catalunya. 2009

3.1.1 pH. El método Fenton depende del pH en medio de la reacción, la reacción tiende a ser mejor en un rango de pH es de 2,7 a 3,1 debido a que pH menor a 2,7 hace que el H₂O₂ reaccione con radicales hidroxilos produciendo la reacción (5) y (6). A pH altos, la precipitación del hierro reacciona con los radicales hidroxilos formando Fe(OH)₃.

3.1.2 Temperatura. La velocidad de oxidación aumenta con el incremento de temperatura¹². A presión atmosférica, el rango de operación es entre 20 y 45°C, ya que si se sobrepasa los 50°C, ocurre una descomposición acelerada del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua¹³, la precipitación del hierro en forma de hidróxido¹⁴. Operando a presiones hasta de 3 atmósferas se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 100°C sin riesgo de descomposición del peróxido¹⁵.

3.1.3 Relaciones de DQO/H₂O₂. La dosis de peróxido de hidrogeno depende de la cantidad de hidroxilos necesarios para oxidar la carga orgánica¹⁶. Para ello se determina las relaciones (6,2) – (2,1) – (1,2).

3.1.4 Relación de H₂O₂/Fe⁺². La dosis del H₂O₂ influye en la eficacia del proceso y el Fe⁺² afecta la velocidad de reacción, sin embargo un exceso de peróxido de hidrogeno conlleva a una reacción en donde los radicales hidroxilos reaccionan con el peróxido dando lugar a la reacción (5) y (6), mientras que un exceso de hierro produce hidróxido de hierro (Fe(OH)₃) al reaccionar con los radicales hidroxilos. Se determina las relaciones (0,2) – (0,6) – (1).

¹² Zhang H., Choi H.J., Huang C. (2005). Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 125, 166-174.

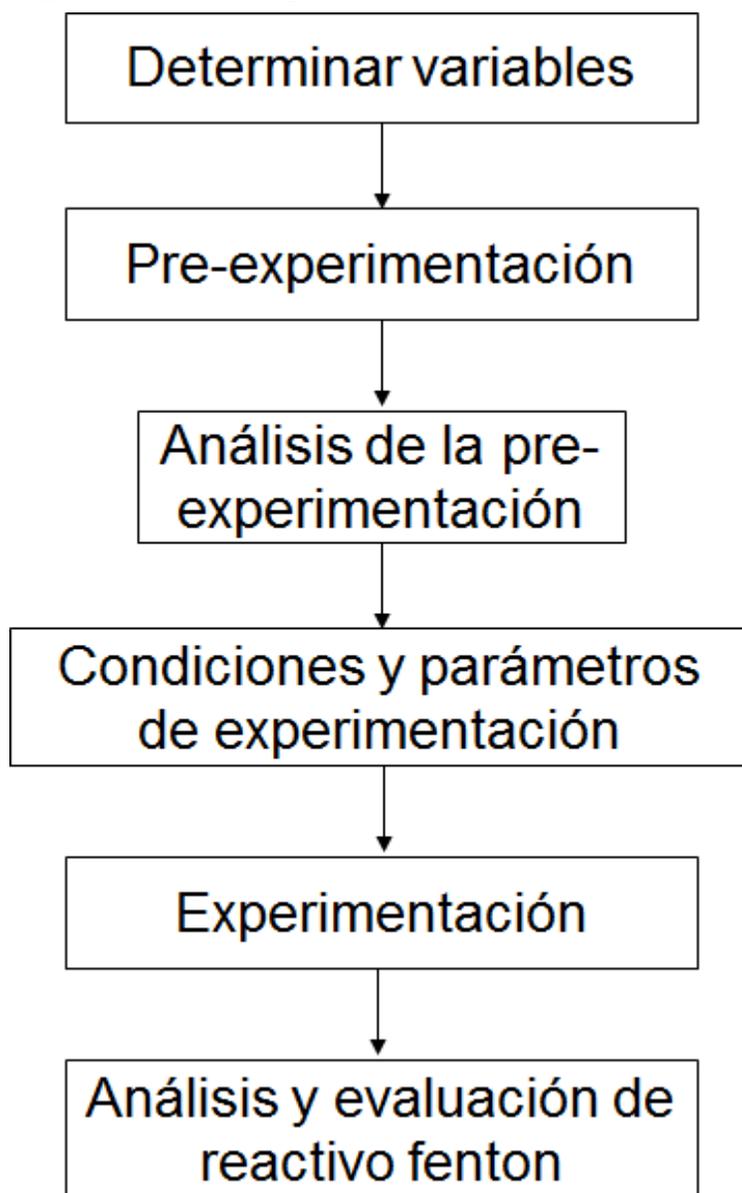
¹³ Torrades F., Núñez L., García-Hortal J. A., Peral J. (2008). Fenton and Photo-Fenton oxidation of a model mixture of dyes - overall kinetic análisis. *Coloration Technology*, 124, 370-374.

¹⁴ Pérez M., Torrades F., Doménech X., Peral J. (2001). Fenton and Photo-Fenton oxidation of textile effluents. *Water Research*, 36, 2703-2710.

¹⁵ Neyens E., Baeyens J. (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*, 98, 33-50.

¹⁶ Rodríguez, R., Flesler, F., & Lehmann, V. (2010). Oxidación avanzada sistema Fenton en tratamiento de efluentes industriales de alta carga orgánica. *Inti Ambiente*.

Figura 1. Metodología del reactivo Fenton



3.1.1 Ensayo pre-experimental. Con los ensayos pre-experimentales se ajustaron las condiciones de operación y de la reacción del reactivo Fenton. Para los ensayos se tuvo en cuenta los parámetros mencionados anteriormente. Se realizó una metodología para la toma de muestra¹⁷, se contó con un equipo de

¹⁷ Laboratorio de Química Ambiental Ideam 1995. NTC-ISO 5667-1. [Citado en 03 de Noviembre de 2016]. [En línea]. Disponible en: http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/Resumen%20Toma%20de%20muestras.pdf

jarras, filtro, balanza, potenciómetro de pH y conductividad, fotómetro multiparamétrico HI 83099 y termorreactor ensayo (reactor) HI 839800.

La **Imagen 2.**, muestra el equipo empleado para realizar la prueba de jarras.

Imagen 2. Test de jarras



Para mantener el pH constante se midió en intervalos de tiempo de 15 minutos, para ello se utilizó el siguiente equipo.

Imagen 3. pH metro portátil



La **Imagen 4.**, muestra el fotómetro HI 83099 ofrece rangos y métodos diferentes, se utilizó para la determinación de medición de DQO y colorimetría. Este equipo cumple con el método EPA 410.4¹⁸ e ISO 15705: 2002¹⁹.

Imagen 4. Fótometro HI 83099



La **Imagen 5.**, muestra el equipo termorreactor de ensayo (reactor) HI 839800 el cual maneja dos temperaturas 105°C y 150°C.

Imagen 5. Reactor HI 839800



¹⁸ Environmental Protection Agency. Method 410.4. The Determination of Chemical Oxygen Demand By Semi-Automated Colorimetry. 1993.

¹⁹ ISO 15705 de 2002. Water quality-Determination of the chemical oxygen demand index (ST-COD) – Small-scale sealed-tube method. [Citado en 06 de Octubre de 2016]. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15705:ed-1:v1:en>.

En la pre-experimentación se realizaron tres pruebas con las condiciones de pH = 3,0, la temperatura de laboratorio es de 20°C. Las relaciones tomadas de DQO/H₂O₂ = 6.2 y H₂O₂/Fe⁺² = 0,1 – 1 y 2.

Para determinar las dosis de los reactivos con respecto al DQO_i del agua residual se debe tener en cuenta la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Determinación de dosis

$$H_2O_2 \left[\frac{ml}{l} \right] = \frac{DQO \left[\frac{mgO_2}{L} \right]}{141.2 \left[\frac{mgO_2}{mlH_2O_2} \right]} \quad (1)$$

El valor obtenido de esta expresión son los mililitros de peróxido de hidrogeno en una solución del 30% por litro de efluente.

Las relaciones utilizadas de H₂O₂/Fe⁺² varían de 0.1 a 2, se realizaron ensayos con diferentes concentraciones de peróxido de hidrogeno determinando las mejores relaciones las cuales fueron 0,2 - 0,6 – 1. De acuerdo a esto la dosis de hierro es de 1000ppm. En las siguientes imágenes se muestra el exceso de hierro y de peróxido de hidrogeno que no reaccionó.

Imagen 6. Exceso de Fe⁺²

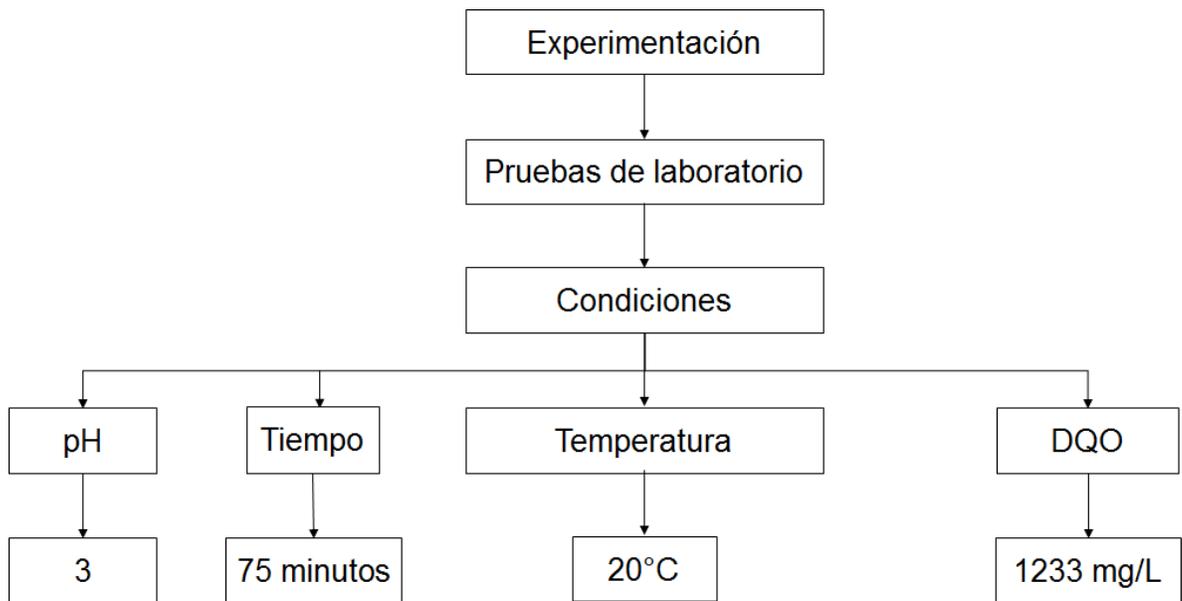


Imagen 7. Exceso de H₂O₂



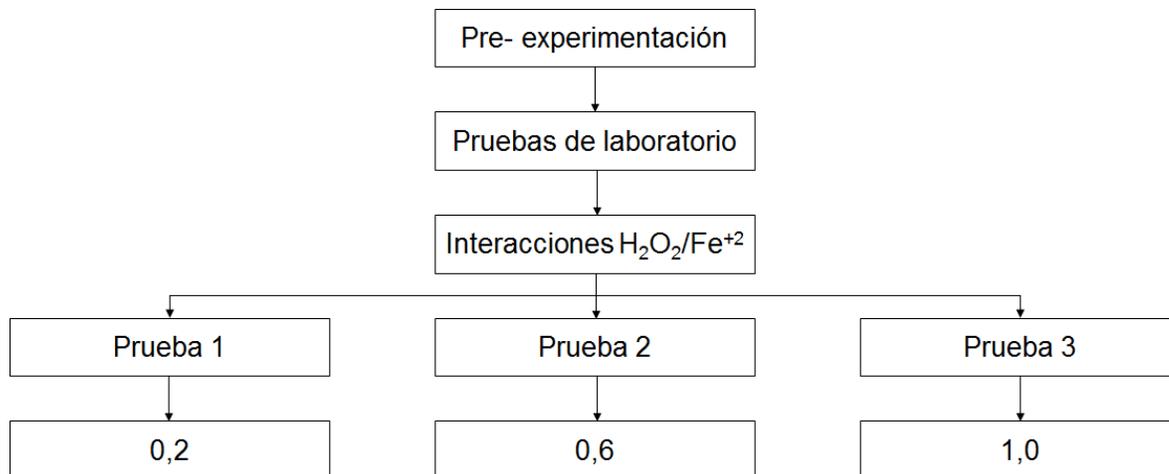
Se determinó el tiempo de reacción de 45 minutos porque pasado este tiempo la reacción no avanza, a 150 rpm en el equipo de jarras. Seguido de esto se tomó un tiempo de sedimentación aproximadamente de 30 minutos. Como objetivo principal de la pre-experimentación se determinó las condiciones de operación del método Fenton y se estableció los parámetros de operación mostrados en la **Figura 2**.

Figura 2. Condiciones de Pre-experimentación



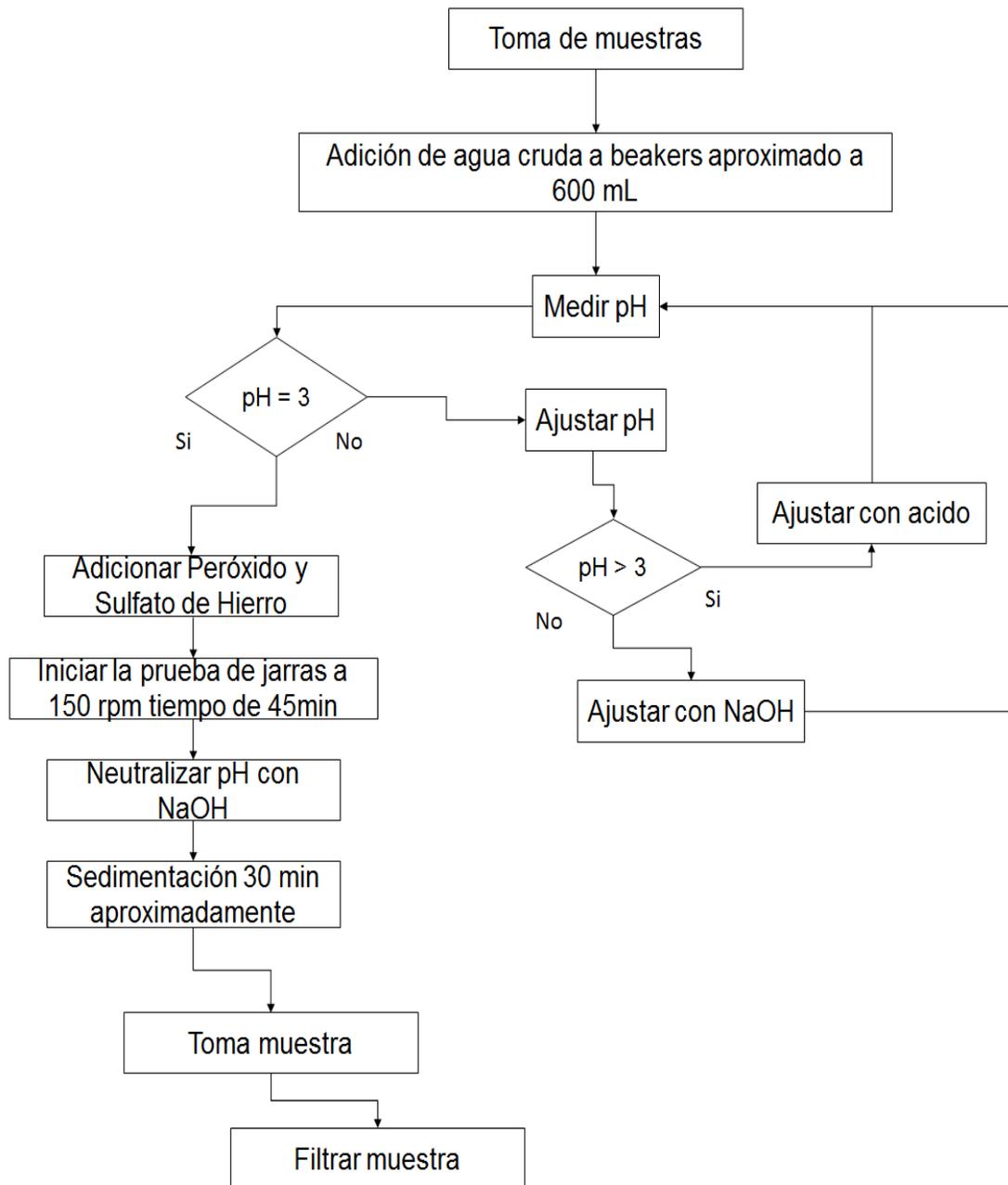
La **Figura 3.**, muestra las relaciones de H_2O_2/Fe^{+2} que se realizó en la pre-experimentación para determinar la remoción de DQO.

Figura 3. Relación de concentración



La **Figura 4.**, muestra el procedimiento de las pruebas de test de jarras manteniendo los parámetros establecidos en la **Figura 2.**

Figura 4. Procedimiento Pruebas Pre-experimentales



3.1.2 Resultados de la pre-experimentación.

3.1.2.1 Primera prueba.

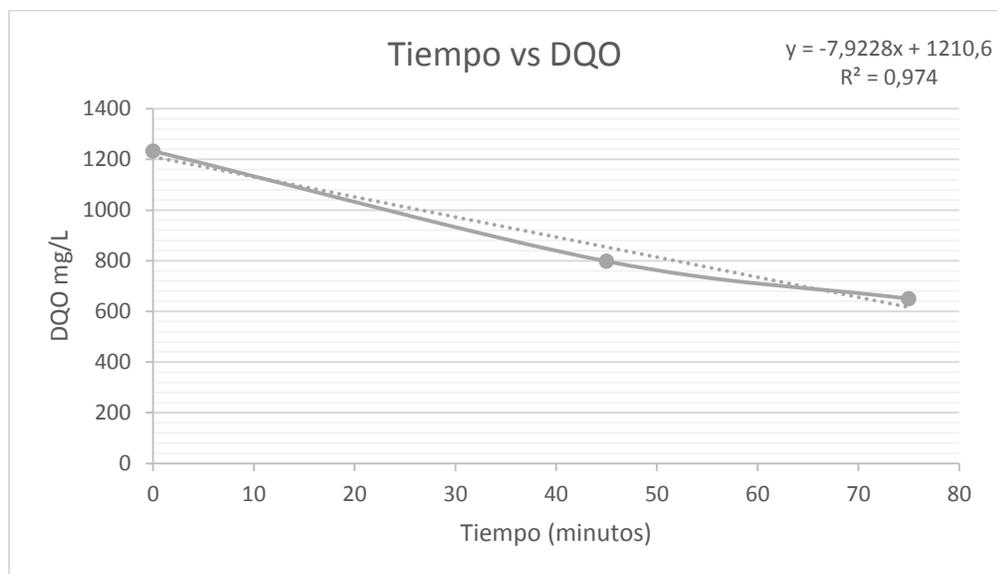
➤ Las relaciones que se evaluaron en esta prueba fueron:

$$\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2 = 6,2$$

$$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2} = 0,2$$

En la **Gráfica 1.**, se observa una disminución del 47,28% de DQO respecto al tiempo.

Gráfica 1. Primera prueba



3.1.2.2 Segunda prueba.

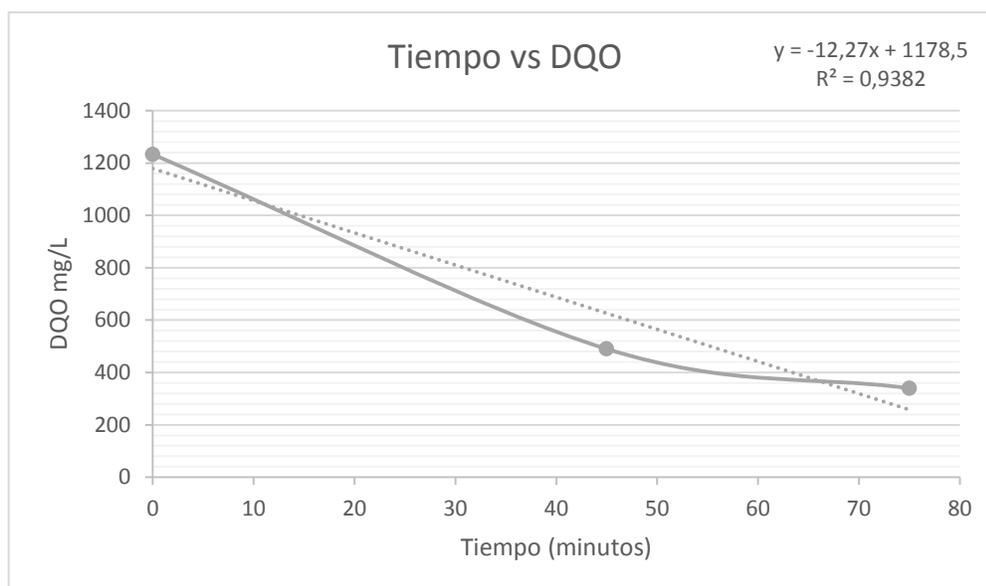
➤ Las relaciones que se evaluaron en esta prueba fueron:

$$\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2 = 6,2$$

$$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2} = 0,6$$

En la **Gráfica 2.**, se observa una disminución del 72,42% de DQO con respecto al tiempo.

Gráfica 2. Segunda prueba



3.1.2.3 Tercera prueba.

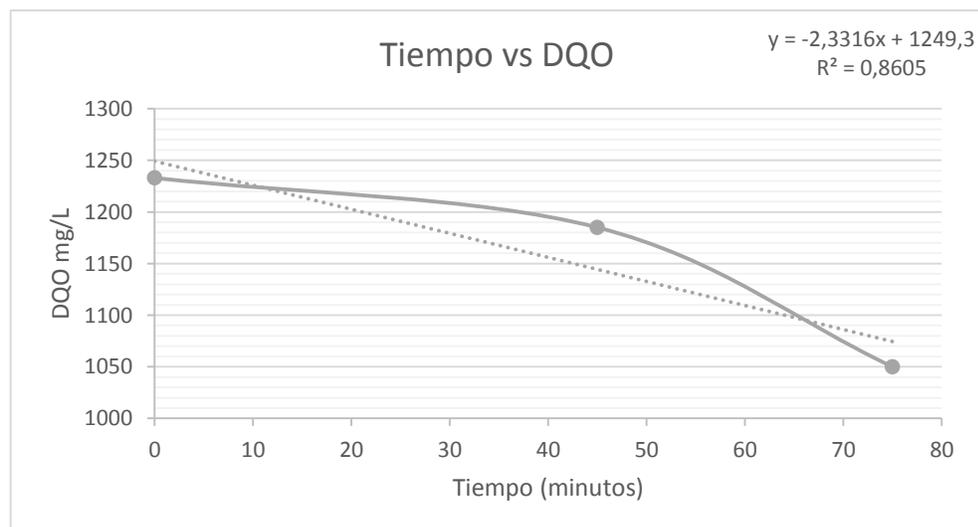
➤ Las relaciones que se evaluaron en esta prueba fueron:

$$DQO/H_2O_2 = 6,2$$

$$H_2O_2/Fe^{+2} = 1,0$$

En la **Gráfica 3.**, se observa un comportamiento de remoción del 14,84% de DQO respecto al tiempo.

Gráfica 3. Tercera prueba



En las gráficas uno (1), dos (2) y tres (3) se muestra los resultados de DQO obtenido en cada prueba en un tiempo de operación de 75 minutos siendo las relaciones 0,2 - 0,6 - 1 de H_2O_2/Fe^{+2} con mejor oxidación de materia orgánica.

Para evaluar el método Fenton en cada prueba, se determinó la eficiencia para cada una teniendo en cuenta el DQO inicial y final. En la **Ecuación 2.**, se muestra la disminución y remoción de materia orgánica en el agua obteniendo los siguientes resultados.

Ecuación 2. Cálculo de eficiencia

$$\eta = \left(1 - \frac{DQO \text{ final}}{DQO \text{ inicial}}\right) * 100$$

Tabla 3. Eficiencia de las pruebas pre-experimentales

Prueba	H_2O_2/Fe^{+2}	DQO(mg O ₂ /L)	Eficiencia (η)
1	0,2	650	47,28%
2	0,6	340	72,42%
3	1	1050	14,84%

La relación de peróxido y hierro es muy sensible al cambio de concentración tanto del reactivo como del catalizador. La relación 0,2 de H_2O_2/Fe^{+2} contiene alto contenido de iones hierro ocurriendo una reacción con los radicales hidroxilo, haciendo que los iones no oxiden la materia orgánica, la relación 1 de H_2O_2/Fe^{+2} no facilita la reacción debido a que el reactivo en exceso es el peróxido de hidrógeno, haciendo que pocos radicales hidroxilos actúen con los compuestos químicos puesto que se producirá peróxido de hidroxilo de acuerdo con la reacción seis(6) siendo este un compuesto poco oxidante en comparación al hidroxilo. Mientras que la relación 0.6 H_2O_2/Fe^{+2} desarrolla la reacción uno (1) puesto que el reactivo limitante Fe^{+2} reacciona con el H_2O_2 produciendo iones hidroxilos permitiendo que estos oxiden la materia orgánica junto con el hierro en la precipitación.

3.1.3 Desarrollo del diseño de experimentos. El proyecto se compone de un diseño de experimentos factoriales de dos factores²⁰. Se determinó las dos variables de este experimento, la primera variable es la relación de DQO/ H_2O_2 y la segunda variable es la relación de H_2O_2/Fe^{+2} , que influyen significativamente en el desarrollo de la remoción de la materia orgánica. Para realizar el diseño se tiene en cuenta los factores como pH y temperatura que se mantienen constantes. El diseño factorial estudia las interacciones entre factores, en este caso de dos factores variables los cuales son las relaciones de DQO/ H_2O_2 y H_2O_2/Fe^{+2} .

Las variables dependientes son:

²⁰ WALPOLE, Ronald. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Sexta Edición. México. Pesaron Educación, 1992.

- El DQO inicial para la muestra siempre fue la misma siendo de 1233 mg O₂/L.
- El tiempo del reactivo Fenton se determina hasta que deje de avanzar la reacción.
- El pH se mantuvo en un rango de 2,8 a 3,1 porque el catalizador reacciona mejor en medio ácido.
- La temperatura de laboratorio oscila alrededor de 20°C.

Las variables independientes son:

- Relación DQO/H₂O₂
- Relación H₂O₂/Fe⁺²

Las relaciones de las dos variables independientes, cada una con tres relaciones de concentración diferentes. La primera DQO/H₂O₂ maneja unas interacciones de (6,2), (2,1), (1,2). La segunda H₂O₂/Fe⁺² mantiene una relación de (0,2), (0,6), (1,0). Se realizaron nueve (9) experimentos con duplicado para cada una teniendo un total de 18 pruebas y con su respectivo DQO.

3.1.3.1 Diseño de experimentos. En la **Tabla 4.**, se observa el análisis de varianza obtenido de las ecuaciones que se muestran en el **Anexo A.**

Tabla 4. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F
DQO/H ₂ O ₂	297697	2	148848	9,48
H ₂ O ₂ /Fe ⁺²	123565	2	61782,4	3,93
INTERACCIONES	147364	4	36841	2,35
ERROR	141321	9	15702,4	
TOTAL	709947	17		

Fuente. Programa Statgraphics para análisis de varianza.

En la **Tabla 5.**, se muestran los datos de la variable respuesta DQO a diferentes relaciones de **DQO/ H₂O₂** y **H₂O₂/Fe⁺²**.

Tabla 5. Análisis de pruebas

H ₂ O ₂ /Fe ⁺²	DQO/ H ₂ O ₂			Total
	6,2	2,1	1,2	
0,2	810	417	938	2165
0,6	94	287	647	1028
1	136	622	1216	1974
Total	1040	1326	2801	5167

Para realizar el anova, se utilizaron los datos de la **Tabla 5**. Para su comienzo se calcula la suma de cuadrados que expresa una medida de variación o desviación, seguido de esto se procede a sacar los grados de libertad lo cual indica la cantidad de datos que se pueden asignar. Al tener estos dos resultados, se obtiene los cuadrados medios para así calcular la distribución F. Este resultado experimental es comparado con la distribución $F_{teorica}$ para determinar si se aceptan o no las Hipótesis con un grado de significancia de $\alpha = 0,05$

De acuerdo a los datos de la **Tabla 4.**, la distribución $F_{experimental}$ comparada con la $F_{teorica}$ fue:

Tabla 6. Distribución F

Factor	F_{exp}	$F_{teorica}$
DQO/H ₂ O ₂	9,48	4,26
H ₂ O ₂ /Fe ⁺²	3,93	4,26
INTERACCIONES	2,35	3,63

Fuente. Programa Statgraphics

- H'_o = No existe interacción entre las relaciones de DQO/H₂O₂ y el DQO
 - H''_o = Existe interacción entre las relaciones de H₂O₂/Fe⁺² y el DQO
 - H'''_o = Existe una relación entre las interacciones DQO/H₂O₂ y H₂O₂/Fe⁺²
 - ✓ H'_i = Existe interacción entre las relaciones de DQO/H₂O₂ y el DQO
 - ✓ H''_i = No existe interacción entre las relaciones de H₂O₂/Fe⁺² y el DQO
 - ✓ H'''_i = No existe una relación entre las interacciones DQO/H₂O₂ y H₂O₂/Fe⁺²
- a) H'_o : $\alpha_1=\alpha_2=\alpha_3 = 0 \rightarrow$ Se rechaza
 b) H''_o : $\beta_1=\beta_2=\beta_3 = 0 \rightarrow$ Se acepta
 c) H'''_o : $(\alpha\beta)_{11}=(\alpha\beta)_{12}=\dots=0 \rightarrow$ Se acepta
 d) $\alpha = 0,05$

3.2 EXPERIMENTACIÓN

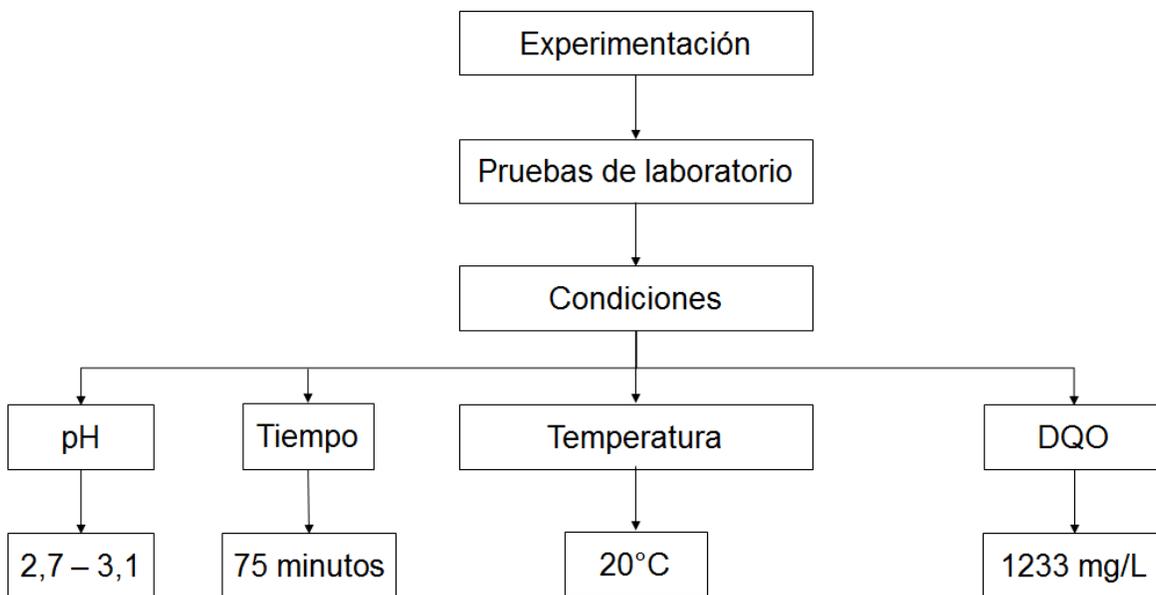
De la pre-experimentación a la experimentación se hicieron los siguientes cambios de condiciones observados en la **Figura 5**.

- 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 2.7 según [Pignatello]²¹. Para Mendez el pH oscila en un rango de 2.7 a 4²². El valor de pH se encuentra entre 2.7-3.1 donde el Fe⁺³ existe en solución mayoritariamente como Fe(OH)₂·(H₂O)₅. A pH altos la velocidad disminuye debido a la precipitación de hierro en forma de Fe(OH)₃²³.

- Se operó a temperatura de laboratorio aproximadamente 20°C.
- El tiempo máximo estimado fue de 75 minutos para el tratamiento completo.
- DQO_{inicial} es de 1233 mg O₂/L

Figura 5. Condiciones experimentales de reactivo Fenton



Las dosis de peróxido de hidrogeno y sulfato de hierro se agregaron antes de la medición de pH debido a que tienden a acidificar el efluente como se muestra en la **Figura 7**. El ácido empleado fue el ácido cítrico el cual es usado en la planta debido a que el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico aportan sulfuros y cloruros a la muestra aumentando su concertación, lo cual puede generar el incumplimiento de la Resolución 0631 de 2015. Los sulfuros actúan como inhibidores de los radicales hidroxilos o reaccionan con el hierro, mientras que los cloruros reaccionan con los iones hidroxilos.

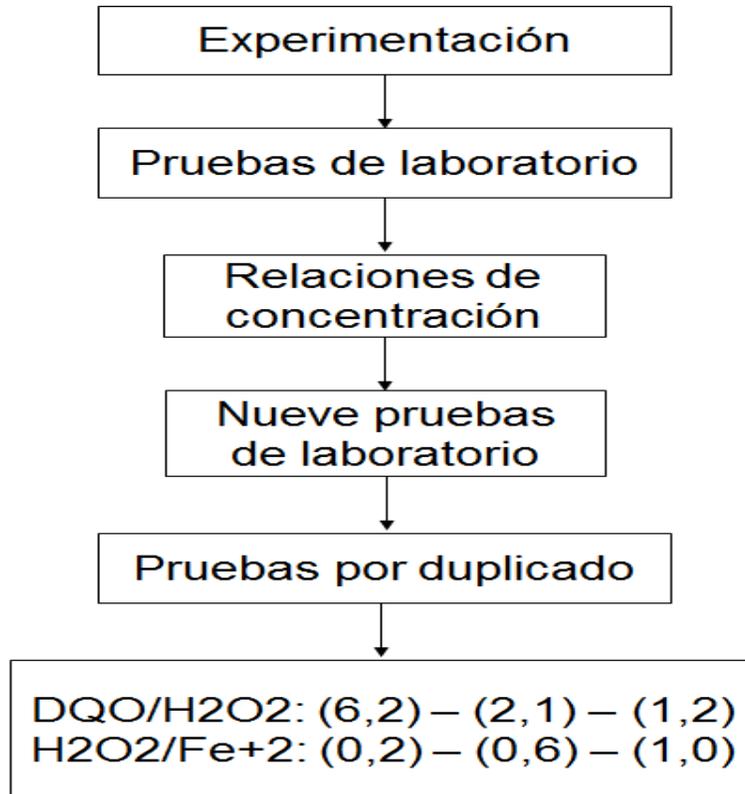
²¹ Pignatello J. J., Oliveros E., Mackay A. (2006). Advanced Oxidation Processes for organic Contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. Environmental Science and Technology, 35, 1-84.

²² Méndez Roger, Pietrogiovanna José, Santos Beatriz, Sauri María, Giácoman Germán, Gastillo Elba. Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción. (2010). Rev. Int. Contam. Ambie. 26 (3) 211-220.

²³ Blanco Jurado José. Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton. universidad politécnica de Catalunya. 2009

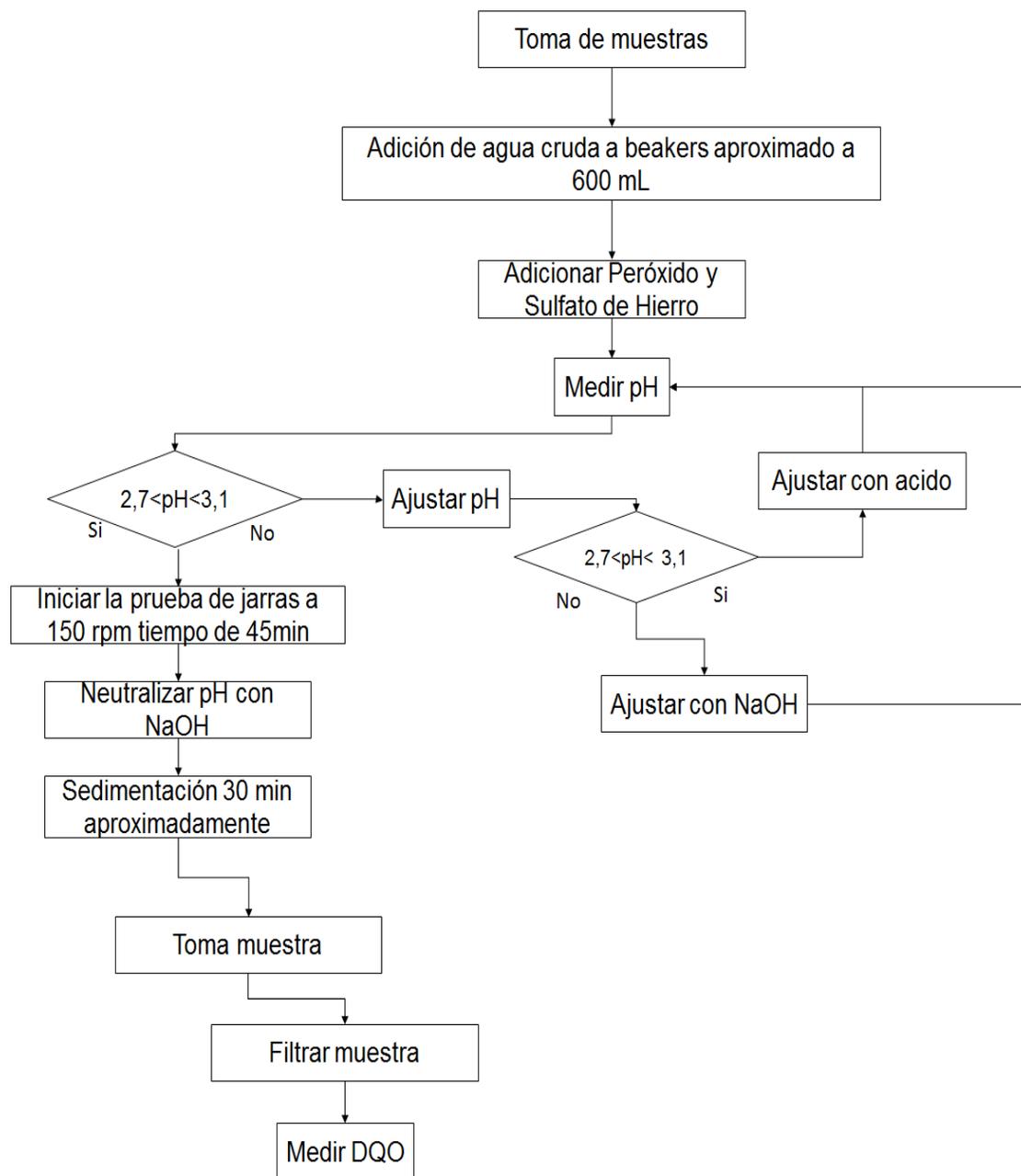
En la **Figura 6.**, se muestra la metodología del reactivo Fenton con las relaciones de DQO/H_2O_2 , H_2O_2/Fe^{+2} y el número de pruebas a realizar.

Figura 6. Experimentación de reactivo Fenton



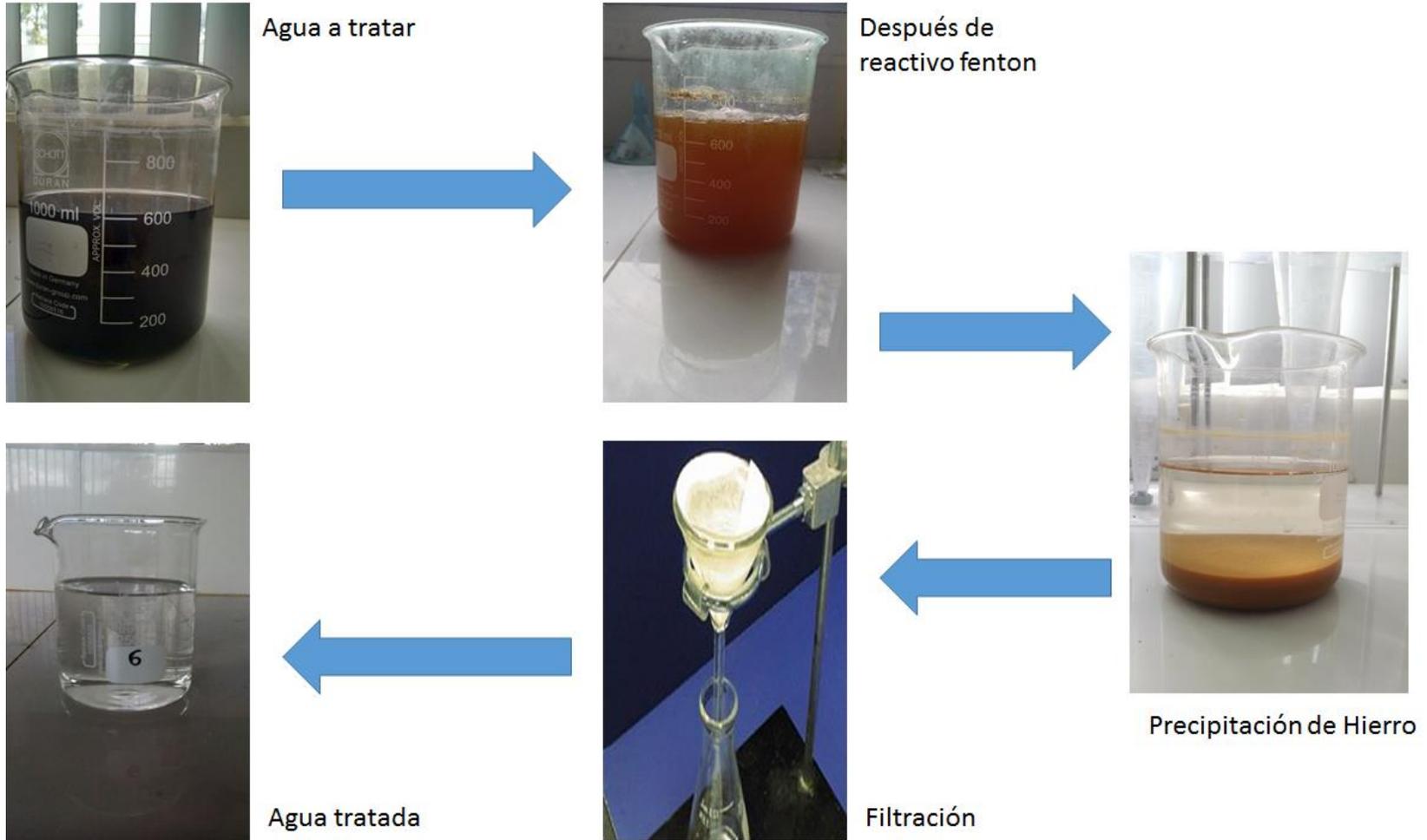
La **Figura 7.**, indica la metodología utilizada para realizar el método Fenton con los ajustes de pH, tiempos de reacción y sedimentación.

Figura 7. Procedimiento experimental de reactivo Fenton



La **Imagen 8.**, muestra la metodología del tratamiento de aguas residuales con el uso del reactivo Fentón

Imagen 8. Proceso de tratamiento de agua



3.2.1 Resultados de la experimentación. La **Gráfica 4.**, muestra todos los ensayos realizados en el laboratorio donde se observa el comportamiento de cada ensayo donde la prueba uno (1), dos (2), seis (6) y ocho (8) se tuvieron resultados de DQO (mg O₂/L) 254, 124, 374 y 142 respectivamente. Se analizó que las pruebas tres (3) y nueve (9) mostraron una disminución de DQO (mg O₂/L) 500 y 529, siendo estas las que mayor DQO obtuvieron.

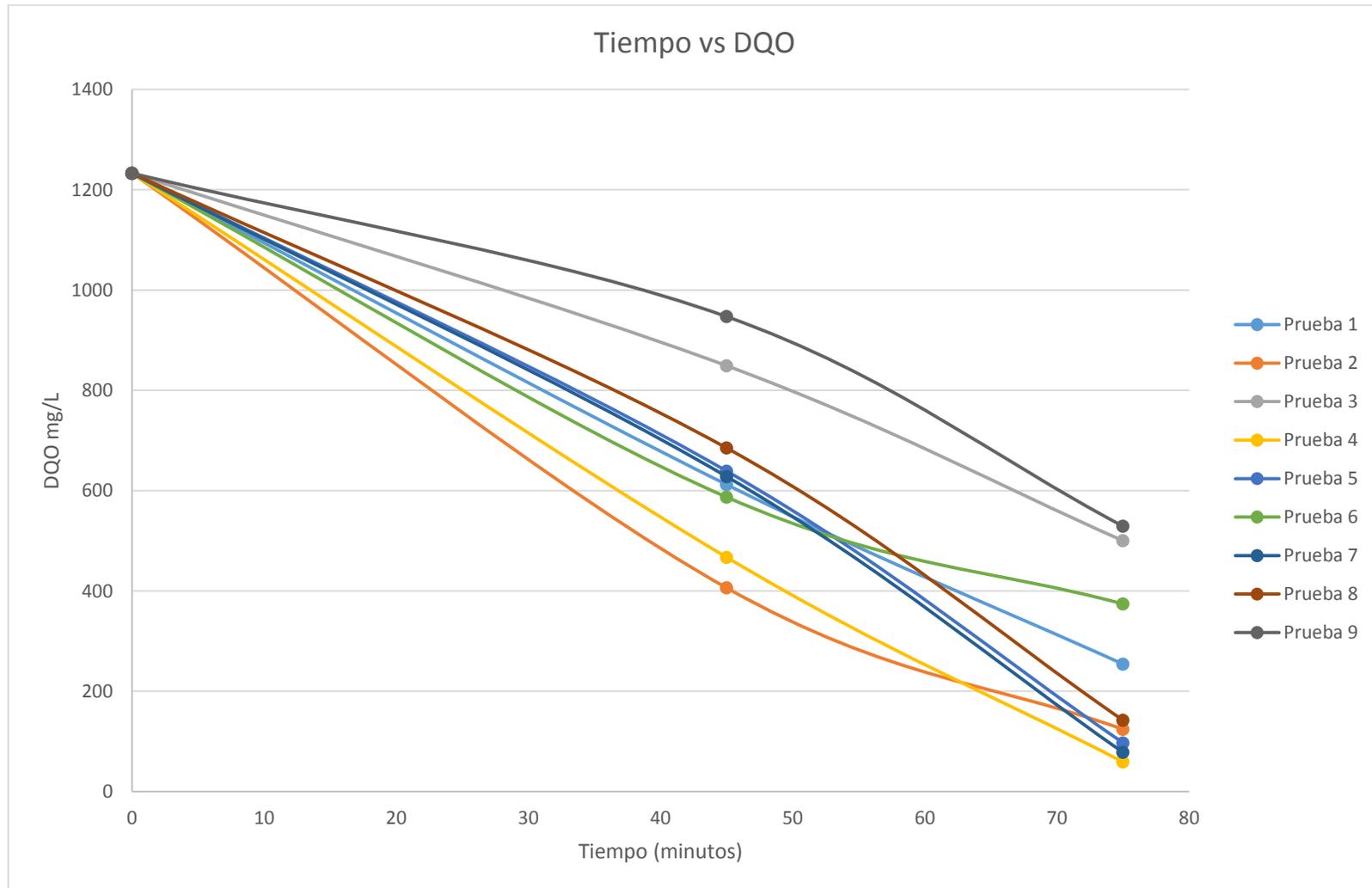
Las pruebas cuatro (4), cinco (5) y siete (7) fueron las que obtuvieron mejores resultados de DQO (mg O₂/L) de 59, 97 y 78 respectivamente puesto que mantuvieron equilibrio de reactivo limite y en exceso produciendo la reacción uno (1) la cual libera iones hidroxilos para que oxiden los compuestos orgánicos haciendo posible la precipitación con el hierro al estabilizar pH con NaOH. El tiempo de reacción fue de 45 minutos donde la reacción no avanzó más por el consumo del hierro, se procedió a tomar el tiempo que tardó el hierro en precipitar con la carga orgánica el cual fue de 30 minutos, siendo un total de 75 minutos de operación.

Tabla 7. Resultado de las pruebas

H₂O₂/Fe⁺²	Pruebas DQO (mg O₂/L)								
	0,2			0,6			1		
Tiempo minutos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1233	1233	1233	1233	1233	1233	1233	1233	1233
45	612	406	849	467	639	587	628	685	947
75	254	124	500	59	97	374	78	142	529

En la **Tabla 7.**, se muestra los resultados de cada prueba de DQO durante el tiempo de operación, donde se observa que cada ensayo cumple con lo establecido por la Resolución 0631 de 2015, cabe aclarar que los ensayos 4 y 5 mostraron una remoción de carga orgánica del 59 (mg O₂/L) y 97 (mg O₂/L). Los cuales indican la relación de sulfato de hierro y peróxido de hidrogeno recomendada para el tratamiento del agua residual.

Gráfica 4. Comparación de las pruebas del reactivo Fenton



En la **Tabla 8.**, se muestra los resultados de los 18 ensayos, cada uno con su respectiva medición de DQO combinando las dos (2) variables.

Tabla 8. Resultados de DQO para cada prueba

	DQO/H ₂ O ₂			
		6,2	2,1	1,2
H₂O₂/Fe⁺²	0,2	254 556	124 293	500 438
	0,6	59 35	97 190	374 273
	1,0	78 58	142 480	529 687

A continuación, se desarrolla la **Tabla 9.**²⁴, de color de agua para cada prueba con su réplica indicando su porcentaje de remoción de acuerdo a las concentraciones de reactivo Fenton mencionadas en la **Tabla 8.**

Tabla 9. Colorimetría del agua de beneficio para cada prueba

Pruebas	Colorimetría (PCU)	AWWA	Aprobado
1	245	15	No cumple
	298	15	No cumple
2	284	15	No cumple
	208	15	No cumple
3	500	15	No cumple
	500	15	No cumple
4	56	15	No cumple
	37	15	No cumple
5	6	15	Si cumple
	13	15	Si cumple
6	37	15	No cumple
	53	15	No cumple
7	87	15	No cumple
	50	15	No cumple
8	86	15	No cumple
	76	15	No cumple
9	500	15	No cumple
	500	15	No cumple

En este capítulo se establecieron los parámetros de pH, temperatura, tiempo y DQO_i para el desarrollo de la experimentación del reactivo Fenton con las

²⁴ [Citado en 06 de Octubre de 2016]. [En línea]. Disponible en: <http://www.hannacolombia.com/productos/checker-hc/colorimetro-de-color-de-agua>

relaciones $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2$ y $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$, una vez conocidas las variables dependientes e independientes utilizadas en la metodología pre-experimental se obtuvo como resultado las relaciones 6,2 – 2,1 y 1,2 de $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2$ y 0,2 – 0,6 y 1 de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ con el fin de escoger las condiciones técnicas para la experimentación. De ese modo se procede con la experimentación para evaluar el DQO_f de las nueve (9) pruebas realizadas con sus réplicas.

Se realizó un análisis de colorimetría del agua de beneficio para evaluar el comportamiento de las nueve (9) pruebas con respecto a la norma AWWA¹³ para seleccionar con más exactitud la relación adecuada para el reactivo Fenton.

4. EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL REACTIVO FENTON PARA LA DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

En este capítulo se desarrolla la eficiencia para cada prueba con su respectivo duplicado con el fin de evaluar el reactivo Fenton para la oxidación de materia orgánica. Con la **Ecuación 1.**, se determina la eficiencia de cada prueba realizada.

$$\eta = \left(1 - \frac{DQO_{final}}{DQO_{inicial}}\right) * 100^{25} \quad (1)$$

En la **Tabla 10.**, se observa la eliminación de materia orgánica y su eficiencia con los coagulantes sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y policloruro de aluminio (PAC) y como floculante el polímero anionico que se usan en la planta actualmente, el procedimiento se observa en el anexo D.

Tabla 10. Resultados de los coagulantes usados en la planta

Reactivo	DQO _{inicial} (mg O ₂ /L)	DQO _{final} (mg O ₂ /L)	Eficiencia (%)
Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	1233	489	60,3%
Policloruro de Aluminio (PAC)	1233	357,6	71%
Método Fenton	1233	97	92,133%

A continuación, se observa los datos de la eficiencia en la **Tabla 11.**, donde muestra un porcentaje del 95,215% de remoción en la prueba 4 mientras que en la prueba 5 hay una remoción de materia orgánica de 92,133%. Estos resultados se compararon con la Resolución 0631 de 2015 para el cumplimiento de la disposición al alcantarillado del agua de beneficio donde debe cumplir con el 59,45% de eficiencia²⁶

²⁵ Delgado. Santiago. (2010). Evaluación de la aplicación del método foto-Fenton para la degradación de materia orgánica en aguas residuales de curtiembres a nivel laboratorio. [Citado en 14 de Octubre de 2016].

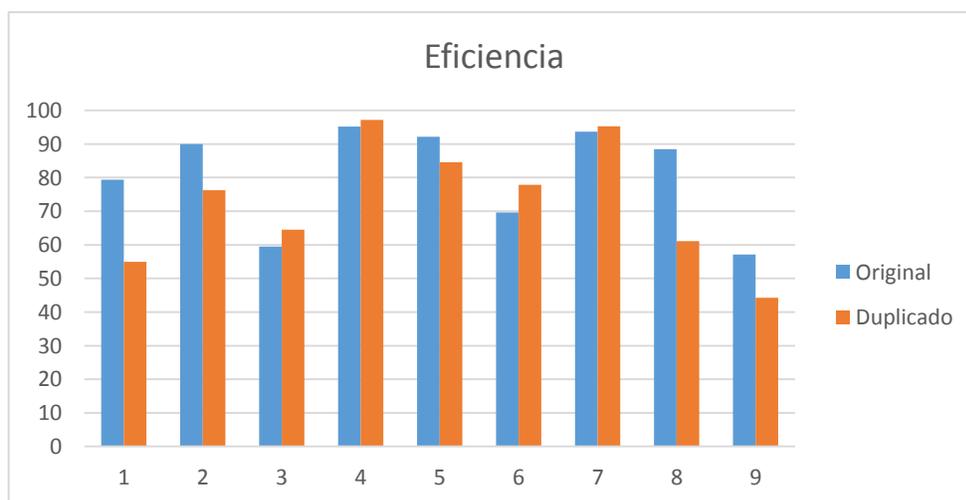
²⁶ Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. [Citado en 25 de agosto de 2016]. [En línea]. Disponible en: http://www.fenavi.org/images/stories/estadisticas/article/3167/Resolucion_0631_17_marzo_2015.pdf

Tabla 11. Eficiencia de las pruebas del DQO

Prueba	DQO _{inicial} (mg O ₂ /L)	DQO _{final} (mg O ₂ /L)	Eficiencia (%)	Resolución 0631	Aprobado
1	1233	254	79,400	500	Si cumple
	1233	556	54,907	500	No cumple
2	1233	124	89,943	500	Si cumple
	1233	293	76,237	500	Si cumple
3	1233	500	59,448	500	Si cumple
	1233	438	64,477	500	Si cumple
4	1233	59	95,215	500	Si cumple
	1233	35	97,161	500	Si cumple
5	1233	97	92,133	500	Si cumple
	1233	190	84,590	500	Si cumple
6	1233	374	69,667	500	Si cumple
	1233	273	77,859	500	Si cumple
7	1233	78	93,674	500	Si cumple
	1233	58	95,296	500	Si cumple
8	1233	142	88,483	500	Si cumple
	1233	480	61,071	500	Si cumple
9	1233	529	57,097	500	No cumple
	1233	687	44,282	500	No cumple

En la **Gráfica 5.**, se resaltan y comparan las eficiencias obtenidas por las pruebas.

Gráfica 5. Eficiencia de las pruebas



En la **Tabla 12.**, se muestra la eficiencia del color del agua por cada prueba obtenidas de la **Tabla 9.**, donde se observa que la prueba 5 presenta un porcentaje del 99,40% de remoción color del agua en comparación con la prueba

4 la cual tiene un valor de 94,39%. Se evalúa con la norma American Water Works Association (AWWA) para comparar que este dentro del límite permitido.

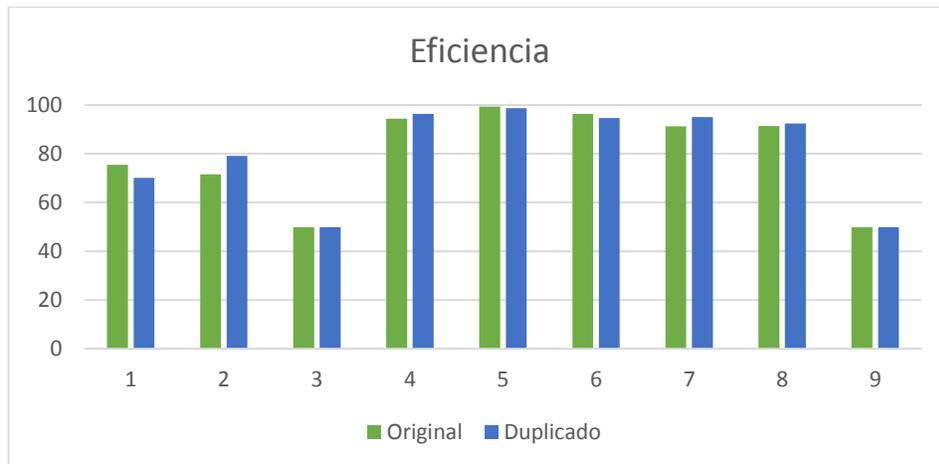
Tabla 12. Eficiencia de las pruebas de color del agua

Prueba	Colorimetría_{inicial} (PCU)	Colorimetría_{final} (PCU)	Eficiencia (%)	AWWA²⁷ (PCU)	Aprobado
1	500	245	75,44	15	No cumple
	500	298	70,13	15	No cumple
2	500	284	71,53	15	No cumple
	500	208	79,15	15	No cumple
3	500	500	49,88	15	No cumple
	500	500	49,88	15	No cumple
4	500	56	94,39	15	No cumple
	500	37	96,29	15	No cumple
5	500	6	99,40	15	Si cumple
	500	13	98,70	15	Si cumple
6	500	37	96,29	15	No cumple
	500	53	94,69	15	No cumple
7	500	87	91,28	15	No cumple
	500	50	94,99	15	No cumple
8	500	86	91,38	15	No cumple
	500	76	92,38	15	No cumple
9	500	500	49,88	15	No cumple
	500	500	49,88	15	No cumple

²⁷ <http://www.hannacolombia.com/productos/checker-hc/colorimetro-de-color-de-agua>

En la **Gráfica 6.**, se presenta el porcentaje de remoción de colorimetría de cada prueba con su respectiva réplica, resaltando la prueba 5 la cual obtiene un aumento de 99,40% de remoción de color del agua.

Gráfica 6. Eficiencia del color del agua



Al evaluar el reactivo Fenton con respecto al Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Policloruro de Aluminio (PAC), se obtuvo una disminución de DQO 489 mg O_2/L para una eficiencia del 60,3% con el coagulante Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y como floculante polímero aniónico. El Policloruro de Aluminio como coagulante mostró una disminución de 357,6 de DQO para una eficiencia del 71%, se infiere que el reactivo Fenton es más eficiente para la remoción de materia orgánica.

Se tiene en cuenta dos parámetros como lo son el DQO y el color del agua debido a que en algunas pruebas el DQO disminuyó notablemente como se observa en la **Gráfica 4.** El mejor resultado de la gráfica es la prueba 4 obteniendo un DQO de 59 mg/L y una eficiencia de 95,215%. Para comprobar el resultado, se realizó un análisis de colorimetría respecto a cada prueba arrojando los resultados de la **Tabla 9.**, obteniendo el mejor resultado de la prueba 5 con un valor de 6 PCU y una eficiencia del 99,40%. Con estos resultados, se optó por la prueba 5 debido a que su porcentaje de remoción de materia orgánica y de color es del 92,133% y 99,40% respectivamente.

5. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos realiza una comparación del proceso actual de la planta con la propuesta presentada en este proyecto evaluando los costos de materia prima, equipos e inversión con una unidad monetaria en peso colombiano (COL \$), en un tiempo de 5 años. Se tomó la tasa representativa de mercado (TRM) de 2963,06 COL\$/USD, del día miércoles 05 de octubre de 2016²⁸. Para ello se utiliza la metodología del valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno operacional (TIR).

5.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN

En el desarrollo de este proyecto se tiene en cuenta la inversión realizada antes del proyecto del sedimentador, en el inicio del proyecto se adquirió el tanque de reacción. Se realiza una inversión antes de la propuesta de \$35.000.000,00, lo que es el precio de la máquina obtenida de la empresa, la inversión del proyecto más el tanque de reacción es \$306.027.534,00.

Tabla 13. Inversión al tanque de reacción

Inversión Asignada sólo al tanque de reacción sobre inversión total:			
Concepto	Sin Proyecto	Con Proyecto	Diferencia
Propiedad, Planta y Equipo (Inv. Total)	\$ 1.700.000.000	\$ 1.700.152.969	\$ 152.969
Inversión asignada al tratamiento	\$ 306.000.000	\$ 306.027.534	\$ 27.534
Inversión Total	\$ 2.006.000.000	\$ 2.006.180.503	\$ 180.503

Para la producción de reactivo Fenton se utilizó los siguientes reactivos teniendo en cuenta que diario se trata 170 m³ de agua residual. Para el costo de cada reactivo, se hizo un balance mensual de agua tratada mostrado en la **Tabla 14.**, de costo total de cada reactivo en el mes, teniendo en cuenta el costo de cada reactivo observado en la **Tabla 15.**

²⁸ Banco de la República. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM) con validez del 05 de octubre de 2016 [en línea] < <http://www.banrep.gov.co/es/trm> > [citado: 05 de octubre de 2016].

Tabla 14. Precio unitario por reactivo

Reactivo	Precio (COL\$)/Kg	Empresa
Peróxido de Hidrogeno	\$7.000,00	Químicos CAMPOTA
Sulfato de Hierro Heptahidratado	\$2.600,00	Químicos CAMPOTA
Hidróxido de Sodio	\$3.500,00	Químicos CAMPOTA
Ácido Cítrico	\$4.700,00	Químicos CAMPOTA
Policloruro de Aluminio	\$2.500,00	Químicos CAMPOTA
Sulfato de aluminio	\$4.500,00	Químicos CAMPOTA

Tabla 15. Costos variables

Costo de Producción Reactivo Fenton / Unidad (producción en Kg):			
Concepto por Costos Variables / mes	Sin Proyecto	Con Proyecto	Ahorros
Sulfato de Hierro	\$0,00	\$10.782.720,00	-\$ 10.782.720,00
Ácido Cítrico	\$974.550,00	\$324.864,00	\$ 649.686,00
Sulfato de Aluminio	\$18.661.500,00	\$0,00	\$ 18.661.500,00
Policloruro de Aluminio (PAC)	\$10.367.500,00	\$0,00	\$ 10.367.500,00
Peróxido de Hidrógeno	\$2.903.050,00	\$17.418.240,00	-\$ 14.515.190,00
Hidróxido de Sodio	\$193.050,00	\$193.050,00	\$ 0,00
MANO DE OBRA	\$834.000,00	\$834.000,00	\$ 0,00
Costo Total COP	\$ 33.933.650,00	\$ 29.552.874,00	\$ 4.380.776,00

En la **Tabla 16.**, se muestra los costos fijos de operación estimados sin la implementación del proyecto, siendo el costo total al mes de \$6.158.000 y con la implementación del proyecto es de \$6.208.000. Al adquirir los reactivos se aumenta un valor de transporte debido a que es necesario llevarla hasta la empresa de tratamiento.

Tabla 16. Costos fijos de operación mensual

Costos de Operación Mensual Concepto por Costos Fijos	Sin Proyecto	Con Proyecto	Ahorros
Costos Mano de Obra / Mensual	2.502.000,00	2.502.000,00	\$ 0
Costo Servicios Públicos (Energía)	3.556.000,00	3.556.000,00	\$ 0
Otros Costos	100.000,00	150.000,00	(\$ 50.000)
Costo Total de Operación en Cifras \$ COP / mes	\$ 6.158.000	\$ 6.208.000	(\$ 50.000)
Costo Total de Operación en Cifras \$ COP / anual	\$ 73.896.000	\$ 74.496.000	(\$ 600.000)
Costo Total de Operación en Cifras \$ Miles COP / mes	\$ 6.158	\$ 6.208	(\$ 50)
Costo Total de Operación en Cifras \$ Miles COP / anual	\$ 73.896	\$ 74.496	(\$ 600)

De acuerdo al análisis comparativo de costos, se genera un ahorro del escenario sin proyecto y con proyecto de \$600.000.

5.2 ANÁLISIS DE DEPRECIACIÓN DE LA INVERSIÓN ASIGNADA AL TANQUE DE REACCIÓN

En la **Tabla 17.**, se muestran los valores de la depreciación de la fecha estimada y anual del tanque de reacción y del sedimentador, lo cual indica la pérdida de valor de los activos fijos por su uso debido al aporte que genera en cuanto a ingresos o renta para la empresa. Por medio de estos valores se puede determinar la vida útil de los equipos y tienen una consecuencia totalmente directa en la utilidad de la empresa.²⁹

Tabla 17. Depreciación de equipos

Inventario Fijo Depreciable	Fechas			Sistema de Depreciación				
	Compra	Hoy	Días	Vlr. Adquisición	Vida Útil	Vlr. Salvamento	Dep. Anual	Dep. A Hoy
Tanque de reacción	15/12/2015	11/10/2016	301	\$ 35.000.000	10	\$ -	\$ 3.500.000	\$ 2.886.301
Sedimentador	01/05/2013	11/10/2016	1259	\$ 75.000.000	10	\$ -	\$ 7.500.000	\$ 25.869.863
Total				\$ 110.000				\$ 28.756

²⁹ Granados, Ismael; Latorre, Leovigildo; Ramirez, Elbar. Contabilidad General: fundamentos, principios e introducción a la contabilidad. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 187p
. ISBN 978-958-701-769-4

5.3 ANÁLISIS DE DEMANDA

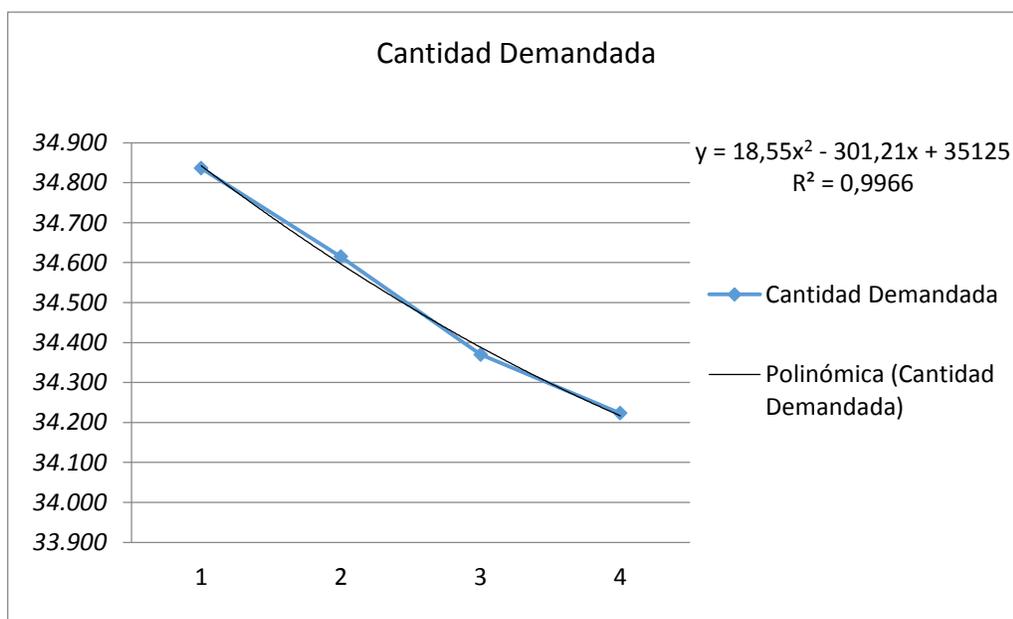
El presente análisis se desarrolló durante los años 2013 a 2016, la **Tabla 18.**, muestra la cantidad de agua tratada en m³ durante los respectivos años.

Tabla 18. Tratamiento anual del agua

Agua tratada	2013	2014	2015	2016
Cantidad Demandada	49.766	49.450	49.100	48.890

Se realizó la curva de demanda de los últimos años mostrada en la **Gráfica 7.**, asumiendo que la empresa Aguas San Juan genera aproximadamente un 75% de producción de agua tratada y el 25% pertenece a los lodos sobrantes en el tanque de tratamiento para otros recursos. Los valores de la demanda se proyectaron para los siguientes cinco (5) años.

Gráfica 7. Cantidad demandada



Se escogió la curva polinómica siendo la función con un coeficiente de determinación aproximado a 1 con un valor de 0,9966. Este comportamiento es natural siguiendo la ley de la demanda³⁰.

³⁰ Krugman, Paul; Olney, Martha; Wells, Robin. Fundamentos de economía. Barcelona : Reverté, 2008. p. ISBN 978 -84-291-2633-4

5.4 ANÁLISIS FINANCIERO

El flujo de caja libre evaluó los ingresos netos de la empresa como costos de operación, gastos operacionales, impuestos, inversión en la planta y equipos. Se extrajeron los datos de IPC (índice de precios al consumidor) y proyecciones macroeconómicas del banco de la república para así presentar las proyecciones del año 2017 y años posteriores. En la **Tabla 19.**, se aprecia el flujo de caja libre efectivo con las proyecciones estimadas a cinco (5) años y en la **Tabla 20.**, se presenta el valor calculado de la tasa interna de retorno operacional (TIR) y el valor presente neto (VPN).

Tabla 19. Flujo de caja libre

FLUJO DE CAJA LIBRE	2016	2017	2018	2019	2020
Ingresos Netos		\$ 327.943.378	\$ 336.704.395	\$ 346.612.010	\$ 356.649.315
- Costos de Operación		\$ 76.857.523	\$ 79.286.221	\$ 81.950.238	\$ 84.605.426
- Gastos Operacionales		\$ 2.909.316	\$ 3.001.250	\$ 3.102.092	\$ 3.202.600
- Pago de Impuestos		\$ 0	\$ 29.924.001	\$ 30.719.702	\$ 31.620.571
- Inversión en Planta y Equipo	\$ 306.027.534	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
= Flujo de Caja Operativo	\$ 306.027.534	\$ 248.176.539	\$ 224.492.923	\$ 230.839.978	\$ 237.220.71

Tabla 20. Predicción de TIR y VPN

TIR	68%
VPN	\$319.078.088,48

Como se observa en la **Tabla 20.**, la tasa interna de retorno (TIR) presenta un valor de 68% indica que el proyecto es viable. Esta tasa es un método de valoración de inversiones que mide la rentabilidad mayor a la que reclama la inversión. Según Gonzalo Prudencio³¹ se puede hacer una comparación de la TIR con la tasa de descuento preestablecida, como el valor de la TIR es mayor al de la tasa de descuento este se acepta y se considera factible invertir en el proyecto.

³¹ Análisis: Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. La Aplicación de VAN, TIR y TRK. 2014 [en línea] <<http://blogs.funiber.org/blog-proyectos/2014/01/08/analisis-evaluacion-financiera-de-proyectos-de-inversion-la-aplicacion-de-van-tir-y-trk>>[citado: 30 de septiembre de 2016].

El valor presente neto es aquel que suma todos los valores actualizados de los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor inicial de la inversión³², por lo tanto cuando se tiene un VPN positivo el proyecto será rentable y entre mayor sea el valor VPN será mejor. Se debe tener en cuenta la tasa de interés usada debido que el VPN depende directamente de esta, de manera que se eligió una tasa de interés fija. El valor VPN del presente proyecto es de \$319.078.088,48 demostrando así que el proyecto generará una rentabilidad importante para los interesados en éste.

³² Métodos de análisis de inversiones-TIR VAN 2006 [en línea]
<http://www.zonaeconomica.com/inversion/metodos> citado: 7 de octubre de 2016].

6. CONCLUSIONES

- Por medio de la Resolución 0631 de 2015 se determina que los parámetros DQO con valor de 1233mg O₂/L, DBO con valor de 784 mg O₂/L, SST 210mg/L, turbiedad de 1,5UNT y color del agua de beneficio es 997,67 PCU no cumplen.
- La reacción de Fenton se lleva a cabo en pH ácidos entre 2,7 a 3,1 debido a que el ion hierro en medio básico reacciona con el peróxido de hidrógeno produciendo hidróxido de hierro.
- El reactivo Fenton es usado para la eliminación de materia orgánica, la relación más eficiente de la evaluación es $DQO/H_2O_2 = 2,1$ y $H_2O_2/Fe^{+2} = 0,6$ para una oxidación de materia orgánica del 92,133% y una eficiencia de color del 99,40%.
- El método Fenton tuvo un resultado del 92,133% de eficiencia en el DQO en comparación con el policloruro de aluminio (PAC) que fue del 71% y el sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃) del 60,3%.
- En el análisis de costos se presenta una viabilidad del 68% de tasa de interés de retorno operacional (TIR) y un valor presente neto (VPN) de 319.078.088,48 COL\$, sin embargo los costos mensuales de los reactivos son de 10.782.720 COL\$ de sulfato de hierro y 17.418.240 COL\$ de peróxido de hidrógeno, mientras que el Sulfato de Aluminio es de 18.661.500 COL\$ y el Policloruro de Aluminio (PAC) es de 10.367.500 COL\$.

7. RECOMENDACIONES

- Para evaluar los ensayos se recomienda a parte de la medición de DQO, el método de análisis de color del agua para seleccionar el ensayo y así determinar la relación más eficiente.
- Se recomienda mantener tiempos de 8 minutos para medir el pH, para evitar que el proceso se inhiba afectando los resultados de la prueba.
- El peróxido de hidrógeno si está en exceso se comienza a degradar el mismo, por los radicales libres de hidroxilos y genera una reacción no deseada.
- Se recomienda llevar a cabo un estudio de lodos generados para la recuperación de hierro del efluente.

BIBLIOGRAFÍA

BLANCO JURADO JOSÉ. Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton. En la universitat Politècnica de Catalunya en el año 2009.

DELGADO VALENCIA SANTIAGO. Evaluación de la aplicación del método foto-Fenton para la degradación de materia orgánica en aguas residuales de curtiembres a nivel laboratorio en la Fundación Universidad de América en el año 2010.

G. Salas. C. Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil 2010 Rev. Oer. Quím. Ing. Quím. Vol. 13 N.01.Pags. 30-38

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 1998.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: El instituto, 2008.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá: El instituto, 1998.

MÉNDEZ ROGER, PIETROGIOVANNA JOSÉ, SANTOS BEATRIZ, SAURI MARÍA, GIÁCOMAN GERMÁN, CASTILLO ELBA. Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción. (2010). Rev. Int. Contam. Ambie. 26 (3) 211-220.

RODRIGUEZ, R., FLESLER, F., & LEHMANN, V. Oxidación avanzada - sistema Fenton - en tratamiento de efluentes industriales de alta carga orgánica. Inti Ambiente. (2010).

RUBIO CLEMENTE AINHOA, CHICA EDWIN L. PEÑUELA GUSTAVO A. Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico (2014). Ingeniería y Competitividad Vol. 16 No. 2, 211-223.

TERÁN GINA, POSLIGUA PAOLA, CARLOS BANCHÓN. Dosificación mínima del reactivo Fenton para la remediación de agua contaminada con colorantes. (2015).Enfoque UTE, V.6-N.3, pp. 65 – 80.

ANEXOS

ANEXO A

CÁLCULOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Las siguientes ecuaciones para cálculos de análisis de varianza aparecen a continuación:

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{T^2}{abn} = 709947$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^a T^2}{bn} - \frac{T_i^2}{abn} = 297697$$

$$SSB = \frac{\sum_{i=1}^a T^2}{an} - \frac{T_i^2}{abn} = 123565$$

$$SSA(AB) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i..}^2}{bn} - \frac{\sum_{j=1}^b T^2}{an} + \frac{T_{..}^2}{abn} = 147364$$

$$SSE = SST - SSA - SSB - SS(AB) = 141321$$

ANEXO B

RESULTADOS DE PRUEBAS

Se realizó nueve (9) pruebas cada una por duplicado para un total de 18 pruebas experimentales.

PRUEBA 1

FECHA	29-jul-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,8
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	6,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,2

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	612
75	254

PRUEBA EXPERIMENTAL 1



Muestra Neutralizada

PRUEBA 1 (REPPLICA)

FECHA	29-jul-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,94
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	6,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,2

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	924
75	556

PRUEBA EXPERIMENTAL 1 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 2

FECHA	01-ago-16
HORA	10:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,04
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	2,1
Relación: H2O2/Fe+2	0,2

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	406
75	124

PRUEBA EXPERIMENTAL 2



Muestra Neutralizada

PRUEBA 2 (REPLICA)

FECHA	01-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,83
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	2,1
Relación: H2O2/Fe+2	0,2

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	716
75	293

PRUEBA EXPERIMENTAL 2 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 3

FECHA	02-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,83
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	1,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,2

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	849
75	500

PRUEBA EXPERIMENTAL 3



Muestra Neutralizada

PRUEBA 3 (REPLICA)

FECHA	02-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,83
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	1,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,2

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	896
75	438

PRUEBA EXPERIMENTAL 3 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 4

FECHA	03-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,9
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	6,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,6

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	467
75	59

PRUEBA EXPERIMENTAL 4



Muestra Neutralizada

PRUEBA 4 (REPLICA)

FECHA	03-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,88
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	6,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,6

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	439
75	35

PRUEBA EXPERIMENTAL 4 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 5

FECHA	04-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,09
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	2,1
Relación: H2O2/Fe+2	0,6

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	639
75	97

PRUEBA EXPERIMENTAL 5



Muestra Neutralizada

PRUEBA 5 (REPLICA)

FECHA	04-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,1
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	2,1
Relación: H2O2/Fe+2	0,6

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	643
75	190

PRUEBA EXPERIMENTAL 5 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 6

FECHA	05-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,76
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	1,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,6

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	587
75	374

PRUEBA EXPERIMENTAL 6



Muestra Neutralizada

PRUEBA 6 (REPLICA)

FECHA	05-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,9
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	1,2
Relación: H2O2/Fe+2	0,6

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	531
75	273

PRUEBA EXPERIMENTAL 6 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 7

FECHA	08-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,06
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	6,2
Relación: H2O2/Fe+2	1,0

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	628
75	78

PRUEBA EXPERIMENTAL 7



Muestra Neutralizada

PRUEBA 7 (REPLICA)

FECHA	08-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,76
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	6,2
Relación: H2O2/Fe+2	1,0

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	427
75	58

PRUEBA EXPERIMENTAL 7 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

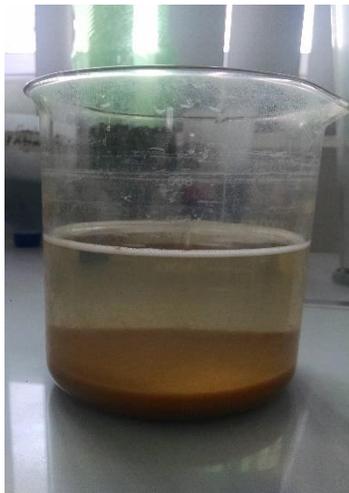
PRUEBA 8

FECHA	10-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,02
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	2,1
Relación: H2O2/Fe+2	1,0

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	685
75	142

PRUEBA EXPERIMENTAL 8



Muestra Neutralizada

PRUEBA 8 (REPLICA)

FECHA	10-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,06
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	2,1
Relación: H2O2/Fe+2	1,0

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	953
75	480

PRUEBA EXPERIMENTAL 8 (REPLICA)



Muestra Neutralizada

PRUEBA 9

FECHA	11-ago-16
HORA	11:00 a. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	2,98
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	1,2
Relación: H2O2/Fe+2	1,0

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	947
75	529

PRUEBA EXPERIMENTAL 9



Muestra Neutralizada

PRUEBA 9 (REPLICA)

FECHA	11-ago-16
HORA	1:00 p. m.
LUGAR	Aguas San Juan
DQOi (mg/L)	1233
VOLUMEN DE LA MUESTRA	600 mL
pHi	3,0
pHf	7
Relación: DQO/H2O2	1,2
Relación: H2O2/Fe+2	1,0

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO (minutos)	DQO (mg/L)
0	1233
45	1043
75	687

PRUEBA EXPERIMENTAL 9 (REPLICA)



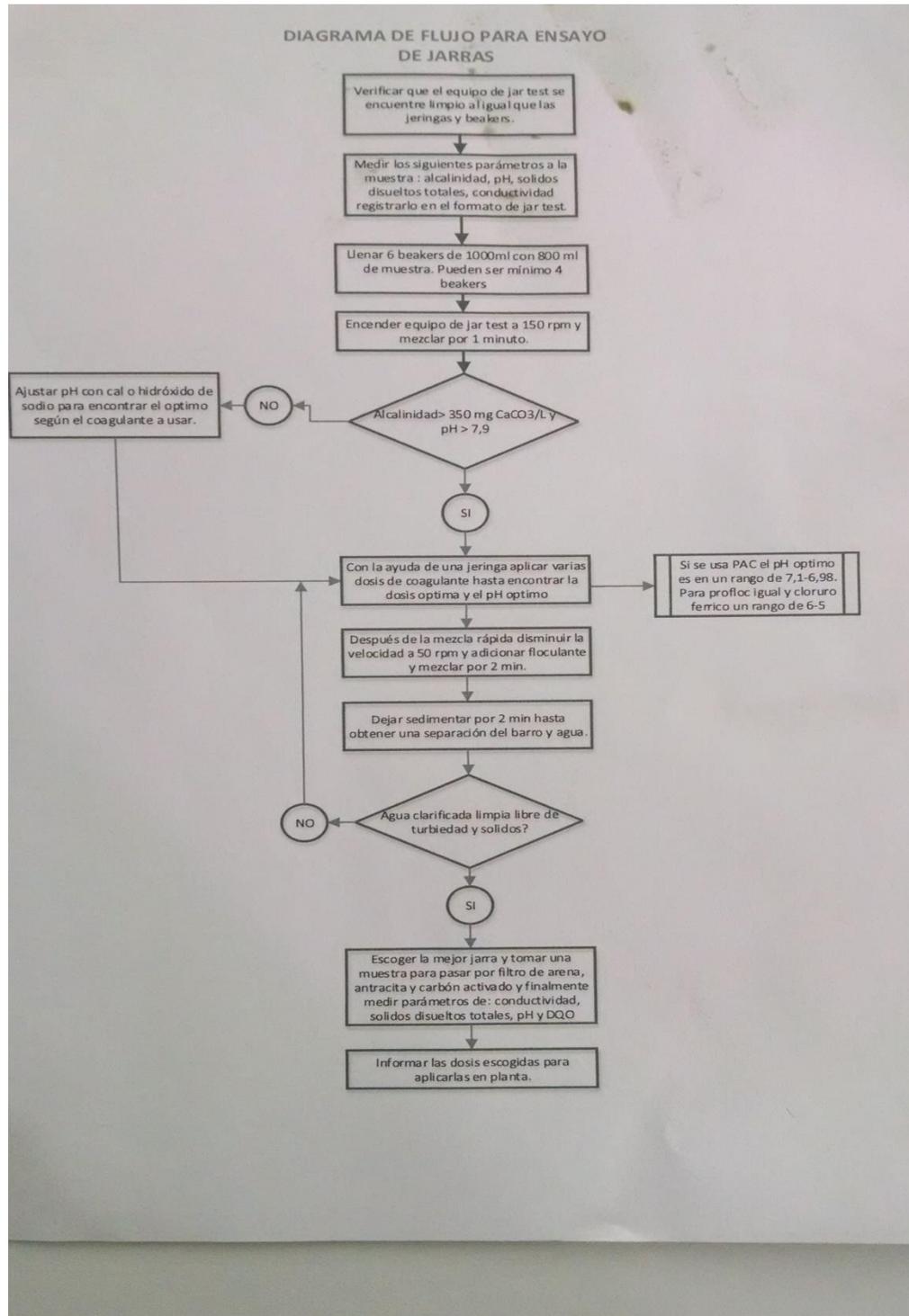
Muestra Neutralizada

ANEXO C
MUESTRA DE AGUA CRUDA.



ANEXO D

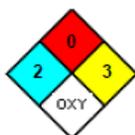
METODOLOGIA PARA EL PAC Y SULFATO DE HIERRO



ANEXO E DATOS DE SEGURIDAD

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PEROXIDO DE HIDROGENO

Rótulo NFPA



Rótulos UN



Fecha Revisión: 21/03/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto:	PEROXIDO DE HIDROGENO
Sinónimos:	Dióxido de hidrógeno.
Fórmula:	H2O2
Número interno:	
Número UN:	2015
Clase UN:	5.1
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.
Teléfonos de Emergencia:	

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES				
Componente	CAS	TWA	STEL	%
Peróxido de hidrógeno	7722-84-1	1.4 mg/m3 (1 ppm) (ACGIH 2004)	N.R. (ACGIH 2004)	> 90
Uso:	Blanqueadores de textiles, alimentos, papel, en la producción de químicos, plásticos, farmacéuticos, electroplateado, tratamiento de agua, refinado y limpieza de metales, combustible de cohetes, caucho para espuma, antiséptico, agente neutralizante en la destilación del vino, desinfectante de semillas.			

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

¡Peligro! Oxidante fuerte. Corrosivo. Al contacto con otro material puede causar fuego. Puede ser dañoso si es ingerido. Puede causar efectos en el Sistema nervioso central, anomalías en la sangre, irritación severa en los tractos respiratorio y digestivo e irritación en la piel con posibles quemaduras. Al contacto con los ojos puede dar lugar a daños permanentes.

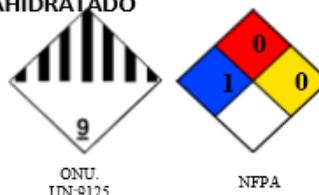
EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Sensación de ardor en la garganta, tos. Posible paro respiratorio y edema pulmonar.
Ingestión:	Corrosivo. Ardor en la garganta, dolor en el pecho, vómito, hemorragias. La formación espontánea de oxígeno en el esófago o estómago puede ocasionar heridas.
Piel:	Corrosivo a concentraciones mayores del 10%. Blanqueamiento de la piel y picazón.
Ojos:	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Puede causar daños irreparables en la retina y eventualmente ceguera. Efectos retardados hasta 1 semana después.
Efectos crónicos:	El contacto prolongado o repetido con la piel puede causar dermatitis. Los experimentos del laboratorio han dado lugar a efectos mutágenos. El contacto repetido puede causar daño córneo.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **SULFATO DE HIERRO (II) HEPTAHIDRATADO**

Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



ONU:
UN:9125

NFPA

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: SULFATO DE HIERRO (II) HEPTAHIDRATADO - FeSO4-7H2O

Número CAS: 7782-63-0

Sinónimos: Sulfato ferroso heptahidratado, Sal del ácido sulfúrico de hierro (II) heptahidratada, Vitriolo verde, Caparrosa, Vitriolo de hierro, Sal ferruginosa.

COMPAÑÍA: GTM

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

SULFATO DE HIERRO (II) HEPTAHIDRATADO

CAS: 7782-63-0

100%

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 9 Misceláneo

Clasificación NFPA: Salud:1 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Causa irritación a las vías respiratorias, nariz y garganta. Los síntomas pueden incluir tos y dificultad para respirar.

Ingestión: Baja toxicidad en pequeñas cantidades, sin embargo, pueden ser tóxicas para los niños. En dosis altas puede causar náuseas, vómitos y diarrea. La coloración rosada de la orina es un fuerte indicador de la intoxicación por hierro. El daño al hígado, coma y muerte por envenenamiento de hierro han sido registrados. Puede causar daños irreversibles en el hígado, bazo y sistema linfático.

Contacto con la piel: Causa irritación a la piel. Los síntomas incluyen enrojecimiento, picazón y dolor.

Contacto con los ojos: Causa irritación, enrojecimiento y dolor.

La exposición crónica: Se han registrado estados de coma y muerte por daños en el hígado por envenenamiento con sulfato de hierro en concentraciones crónicas. El envenenamiento severo o crónico por sulfato ferroso puede dañar los vasos sanguíneos. Grandes dosis causan raquitismo en los niños. La exposición crónica puede causar efectos en el hígado. La exposición prolongada de los ojos puede causar decoloración.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD HIDROXIDO DE SODIO



Fecha Revisión: 21/03/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto:	HIDROXIDO DE SODIO
Sinónimos:	Soda cáustica (anhídrica), Soda cáustica en escamas, Cáustico blanco, Lejía, Hidrato de sodio.
Fórmula:	NaOH
Número interno:	
Número UN:	1823 Sólido
Clase UN:	8
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

Teléfonos de Emergencia:

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Componente	COMPONENTES			
	CAS	TWA	STEL	%
Hidróxido de sodio	1310-73-2	N.R. (ACGIH 2004)	C 2 mg/m3 (ACGIH 2004)	99-100

Uso: Neutralización de ácidos, refinación del petróleo, producción de papel, celulosa, textiles, plásticos, explosivos, removedor de pinturas, limpiador de metales, electroplateado, limpiadores comerciales y domésticos, pelado de frutas y verduras en la industria de alimentos.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

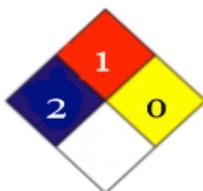
VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Peligro. Corrosivo. Higroscópico. Reacciona con agua ácidos y otros materiales. Causa quemaduras a piel y ojos. Puede ocasionar irritación severa de tracto respiratorio y digestivo con posibles quemaduras. En casos crónicos puede producir cáncer en el esófago y dermatitis por contacto prolongado con la piel.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Irritante severo. Los efectos por la inhalación del polvo o neblina varían desde una irritación moderada hasta serios daños del tracto respiratorio superior, dependiendo de la severidad de la exposición. Los síntomas pueden ser estornudos, dolor de garganta o goteo de la nariz. Puede ocurrir neumonía severa.
Ingestión:	Corrosivo!. La ingestión puede causar quemaduras severas de la boca, garganta y estómago. Pueden ocurrir severas lesiones tisulares y muerte. Los síntomas pueden ser sangrado, vómitos, diarrea, caída de la presión sanguínea. Los daños pueden aparecer algunos días después de la exposición.
Piel:	Corrosivo! El contacto con la piel puede causar irritación o severas quemaduras y cicatrización en las exposiciones mayores.
Ojos:	Produce irritación con dolor, enrojecimiento y lagrimeo constante. En casos severos quemaduras de la córnea e incluso ceguera.
Efectos crónicos:	Contacto prolongado produce dermatitis, fisuras e inflamación de la piel. Puede causar cáncer al esófago.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	ACIDO CITRICO	<i>Ver. : 2</i> <i>Agosto 20 de 2009</i> <i>Página 1 de 5</i>



Pictograma NFPA

1.IDENTIFICACION DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑIA

Nombre Químico:	Acido Cítrico Citrux
Sinónimos:	Acido 2- hidroxí-1, 2, 3-propanotricarboxílico; 1, 2, 3 Acido propanetricarboxílico; Acido beta hidroxitricarboxílico; Acido beta-hidroxitricarbalílico; HidroceroI.
Formula:	H3C6H5O7
Familia Química:	Acidos Orgánicos
Registro CAS:	77-92-9
Numero UN:	N.R
Información de la Compañía:	Nombre: Fujian Shan S.A. Dirección: Carretera central de Occidente Km 1.5 Vía Funza, Parque Industrial San Carlos, Etapa I Local 4
Teléfono de Emergencia:	5467000 – Funza

2.COMPOSICION E INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES	
Ingrediente	Acido Cítrico
CAS	77-92-9
Por Ciento	99.0 - 100%
ppm	10 mg/m3
TLV-TWA	No establecido.

3.IDENTIFICACION DE PELIGROS

Inhalación:	Causa irritación del tracto respiratorio con síntomas como tos, falta respiración.
Ingestión:	Causa irritación del tracto gastrointestinal. Los síntomas pueden ser náuseas, vómitos y diarrea. Dosis orales extremadamente altas pueden producir malestar gastrointestinal. En casos de ingestión severa se puede producir deficiencia de calcio en la sangre
Contacto con la Piel:	Causa irritación de la piel. Los síntomas incluyen enrojecimiento, prur y dolor.
Contacto Ocular:	Altamente irritante; puede ser también abrasivo.
Efectos Crónicos	El contacto continuo y prolongado puede producir dermatitis. Por ingestión crónica o de grandes dosis produce erosión dental e irritación del sistema digestivo. El ácido cítrico no se acumula en el cuerpo

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotros **Marco Stiven Becerra Diaz** y **Sebastián Felipe Cadena Ibáñez** en calidad de titulares de la obra **Evaluación de la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP**, elaborada en el año **2016**, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 10 días del mes de Noviembre del año 2016.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Marco Stiven	Becerra Diaz
Documento de identificación No	Firma
1030609000	

Nombres	Apellidos
Sebastián Felipe	Cadena Ibáñez
Documento de identificación No	Firma
1022378213	