



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DEGRADACION DE FENOLES PRESENTES EN LAS
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA REFINERIA DE
SHUSHUFINDI MEDIANTE FOTODEGRADACION UTILIZANDO
OXIDO DE TITANIO (IV) ADHERIDO
ELECTROQUIMICAMENTE PARA SU DESCONTAMINACION,
2016”**

Trabajo de titulación para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: KATHERINE XIOMARA VILLAMARIN VILLENA

JACKIE ALEXANDER VILLAMARIN VILLENA

TUTOR: DR. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCES

Riobamba - Ecuador

2017

© 2017, Katherine Xiomara Villamarin Villena y Jackie Alexander Villamarin Villena

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DEGRADACION DE FENOLES PRESENTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RECIDUALES DE LA REFINERIA DE SHUSHUFINDI MEDIANTE FOTODEGRADACION UTILIZANDO OXIDO DE TITANIO (IV) ADHERIDO ELECTROQUIMICAMENTE PARA SU DESCONTAMINACION, 2016”, de responsabilidad de los Señores egresados Katherine Xiomara Villamarin Villena y Jackie Alexander Villamarin Villena , ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés		
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
Ing. Carlos Medina		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----

Yo, Katherine Xiomara Villamarin Villena Y Jackie Alexander Villamarin Villena, declaro que el presente trabajo de titulación es de nuestra autonomía y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 15 de Marzo 2017

Katherine Xiomara Villamarin Villena
CI: 210051820-4

Jackie Alexander Villamarin Villena
CI: 210051821-2

Yo, Katherine Xiomara Villamarin Villena y Jackie Alexander Villamarin Villena y, somos responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

KATHERINE XIOMARA VILLAMARIN VILLENA
C.I.210051820-4

JACKIE ALEXANDER VILLAMARIN VILLENA
C.I.210051821-2

DEDICATORIA

“Pero la sabiduría que desciende desde lo alto es primeramente pura, luego es pacífica, tolerante, complaciente, llena de misericordia y de buenos frutos, ecuánime y genuina “(Santiago 3-17).

Ciento de personajes han marcado la historia, lo grande de Jesús es que no solo dividió la historia ha marcado millones de vidas, gracias a DIOS por las maravillas y grandezas que ha tenido tiene y tendrá con nosotros, por ayudarnos con su bendición a cursar una etapa más de nuestras vidas.

Esta tesis la dedico a mi DIOS, nuestros padres **NANCY VILLENA Y FRANCISCO VILLAMRIN** que han sido el pilar fundamental para lograr nuestras metas , nuestro tutor **FAUSTO YAULEMA** y asesor **CARLOS MEDINA** por su apoyo fundamental y conocimiento impartido en el transcurso de nuestra etapa estudiantil, nuestros hermanos **ROBERT** y **CRISTIAN** por cursar junto a nosotros esta etapa importante para nosotros ,a cada uno de nuestros maestros que día a día nos entregan sus conocimientos , nuestros amigos y hermanos en Cristo de la ciudad de Orellana y la ciudad de Riobamba que nos han apoyado en estos años con sus oraciones que han sido fundamental para culminar con éxito nuestras metas trazada

*Katherine
Alexander*

AGRADECIMIENTO

Agradezco de una forma muy especial al ser que día a día nos guarda, protege y da las fuerzas para seguir adelante en el transcurso de nuestras vidas nuestro creador “DIOS”

A nuestra universidad la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y sus Autoridades que día a día se esmeran por el desarrollo de la institución.

Al Dr. Fausto Yaulema por su colaboración y asesoramiento para culminar nuestra investigación.

Al Ing. Carlos Medina por la guía y el aporte de sus conocimientos para la ejecución de nuestro trabajo.

A nuestra familia, que son el pilar fundamental para el desarrollo de esta investigación y la culminación de una etapa más de nuestras vidas, gracias a ellos somos personas de bien para DIOS y la sociedad.

A nuestros amigos y hermanos en cristo por medio de sus oraciones nos han apoyado espiritualmente para seguir en este camino y lograr lo que nos propusimos.

Katherine

Jackie

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TiO_2	Dióxido de Titanio / Oxido de Titanio IV
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Sulfato Ferroso hepta-Hidratado
<i>ABS</i>	Absorbancia
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit
$^{\circ}C$	Grados Centígrados
H_2O_2	Peróxido de Hidrogeno
O_2	Oxigeno Gas
C_6H_6O	Fenol
CdS	Sulfuro de Cadmio.
ZnS	Sulfuro de Cinc.
SnO_2	Dióxido de Estaño.
WO_3	Oxido de Wolframio
SiO_2	Oxido de Silicio
ZrO_2	Dióxido de Zirconio
ZnO	Óxido de cinc
Nb_2O_3	Oxido de Niobio
Fe_2O_3	Óxido de Hierro
UV	Ultra Violeta
<i>Fenton</i>	Método de degradación de fenoles
<i>Nm</i>	Nanómetro (unidad de medida).
<i>OAP</i>	OAP
<i>CIS</i>	Complejo Industriario Shushufindi.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRAFICAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
General.....	4
Específicos.....	4
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Fenol	5
1.1.1 Exposición al Fenol	6
1.1.2 Efectos para la Salud.	6
1.1.3 Aparato respiratorio.....	6
1.1.4 Sistema Nervioso Central.....	6
1.1.5 Sistema Cardiovascular.....	6
1.1.6 Sistema Renal.	7
1.1.7 Sistema Dérmico.	7
1.1.8 La industria petroquímica.....	7
1.1.9 Potenciales Impactos Ambientales De La Petroquímica.	7
1.1.10 Degradación de Fenoles Totales Durante el Tratamiento de las Aguas de Producción Petrolera.....	7
1.2 <i>Oxidación Química</i>	8
1.2.1 Oxidación Avanzada.....	8
1.2.2 Descripción del Proceso.....	9

1.2.3	El Peróxido de Hidrogeno.	9
1.2.4	Descripción de los Procesos.	10
1.3	Fotocatálisis.	10
1.3.1	La Reacción Solar y la Aplicación en la Fotocatálisis.	11
1.3.2	Electroquímica.	11
1.3.3	Fotolisis.	11
1.3.4	Fotooxidación.	12
1.3.5	Fotocatálisis con reactivo Fenton.	12
1.3.6	Fotocatálisis Heterogénea.	12
1.3.7	Fotocatálisis Homogénea.	12
1.4	Fotocatálisis Heterogénea Con óxido de Titanio (IV) (TiO ₂)	13
1.4.1	Longitud de Onda e Intensidad de la Luz.	13
1.4.2	Catalizador.	13
1.4.3	Temperatura y PH.	14
1.4.4	Colector o Reactor Solar.	14
1.4.5	Oxido de Titanio (IV).	14
1.4.6	Soporte del Foto catalizador.	14
1.4.6.2	Química Superficial del Carbono	15
1.4.7	Oxidación Foto catalítica de los Fenoles.	15
1.4.8	Oxidación Foto catalítica del Cianuro.	15
1.5	Normativa.	16

CAPÍTULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL.	18
2.1	Unidad de estudio	18
2.1.1	Localización	19
2.1.2	Población de estudio	19
2.2	Toma de muestra	19
2.2.1	Tipos de variables	20
2.3	Métodos y Técnicas	21

2.3.1	Recolección de la Muestra.	21
2.3.2	Análisis de las muestras en el Equipo HACH DR-2800 mediante el Método 470.	21
2.4	Preparación de la solución patrón de fenol	23
2.4.1	Preparación de soluciones de fenol a distintas concentraciones.	23
2.5	Elaboración de la curva de calibración.	25
2.6	Diseño y construcción del reactor.....	25
2.7	Preparación del recubrimiento de TiO ₂ electroquímico en el acero.....	25
2.8	Tratamiento de las aguas Residuales Refinería Shushufindi (CIS).	26
2.8.1	Tratamiento aguas residuales CIS método Fenton	26

CAPÍTULO III

3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	27
3.1	Análisis y discusión de resultados.	27
3.1.1	Localización de la experimentación.	27
3.1.2	Elaboración de las muestras.	27
3.1.3	Muestreo de las concentraciones iniciales.....	27
3.1.4	Tratamientos empleados en la degradación de fenoles.....	28
3.1.5	Tratamiento con una solución comparativa de TiO ₂ (250 -50) ppm y la luz UV-Visible	29
3.2	Resultados estadísticos obtenidos en el SPSS.....	34

CONCLUSIONES.

RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Estructura del fenol	5
Figura 2-2 Refinería Shushufindi	19

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3 Concentraciones bajas de fenol.....	28
Gráfico 2-3 Bajas concentraciones de fenol.....	29
Gráfico 3-3 Tratamiento.....	30
Gráfico 4-3 Concentraciones Fenoles.....	31
Gráfico 5-3 Resultados de la Concentración 30 ppm fenol.....	32
Gráfico 6-3 Resultados de concentración de fenol a 30 ppm.....	33
Gráfico 7-3 Media aritmética de la degradación de fenoles.....	36
Gráfico 8-3 Medias marginales estimadas de degradación de fenoles.....	37
Gráfico 9-3 Resultado de las medias marginales estimadas de degradación de fenoles.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Propiedades físicas y químicas del fenol.....	5
Tabla 2-1 Parámetro del Fenol en la normativa	17
Tabla 3-2 Combinaciones de variables de tratamientos	18
Tabla 4-2 Combinaciones de tratamientos	18
Tabla 5-2 Pasos para determinar las concentraciones de fenol en HACH DR-2800.....	22
Tabla 6-3 Datos de muestreo	27
Tabla 7-3 Longitud de onda a bajas concentraciones del Fenol.....	28
Tabla 8-3 Bajas concentraciones de fenol.....	29
Tabla 9-3 Concentración TiO ₂ 50 ppm	29
Tabla 10-3 Lectura de resultados	30
Tabla 11-3 Concentración TiO ₂	30
Tabla 12-3 Resultados.....	30
Tabla 13-3 Datos de reactivos	31
Tabla 14-3 Muestras tomadas y sus repeticiones:	32
Tabla 15-3 Resultados.....	32
Tabla 16-3 Datos del tratamiento electroquímico	33
Tabla 17-3 Resultados.....	33
Tabla 18-3 Factores inter – sujetos.....	34
Tabla 19-3 Pruebas de efectos inter- sujetos	34
Tabla 20-3 Comparaciones múltiples	35
Tabla 21-3 Degradación de fenoles	36

RESUMEN

La presencia de fenoles en las aguas industriales, establecen un problema al momento de su disposición final. El presente trabajo tuvo como objetivo la degradación de los fenoles presentes en las descargas de aguas residuales de la refinería de Shushufindi mediante foto degradación catalítica. Mediante el método de degradación electro-foto catalítico que consiste en la adhesión electroquímica del dióxido de titanio (TiO_2 /UV) se realizó la degradación de fenoles presentes en las aguas residuales indicando una alta eficiencia del 99%, en un lapso de 180 minutos; en un medio ácido de 5,14 y una lámpara UV-Visible (Vilber Lourmat 1102600; $\lambda = 365$ nm). Demostrando una transformación en radicales hidroxilos a partir del agua, realizando dos tratamientos comparativos: Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$) y electro-foto catalítico, se determinó el grado de eficiencia. Mediante concentraciones de fenol de 30, 50 mg/L se obtuvieron porcentajes de degradación de 98 a 99% del contaminante. Se concluyó que el método de degradación electro-foto catalítico TiO_2 /UV, en la aceleración de degradación fue evidentemente, más eficiente, teniendo ventajas más favorables que el tratamiento Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$), reduciendo costos en reactivos, trazas de hierro en el agua que pueden ocasionar afecciones a la salud. Se recomienda el uso del método de degradación electro-foto catalítico para el tratamiento de aguas industriales.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MEDIO AMBIENTE>, <BIOTECNOLOGÍA>, <OXIDO DE TITANIO IV (TiO_2) >, <FENOL>, <LAMPARA UV-VISIBLE>, <ELECTRO-CATALÍTICO>, <FENTON>.

ABSTRACT

The presence of phenols in industrial waters, establish a problem in its final moment.

The present work aimed at the degradation of fungi in the wastewater discharges of the Shushufindi refinery by photo catalytic degradation. By the method of catalytic electrophotographic degradation, which is bound in the electrochemical adhesion of titanium oxide IV (TiO_2 / UV), the degradation of the phenols in the waste water was carried out indicating a high efficiency of 99% in a lapse of 180 minutes; In an acid medium of 5,14 and UV-Visible lamp (Vilber Lourmat 1102600; $\lambda = 365 \text{ nm}$). Demonstrating a transformation in hydrophilic radicals from water performing the comparative treatments Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{2+}$) and electro-catalytic photo, the degree of efficiency was determined. By means of phenol concentrations of 30, 50 mg/L the percentages of degradation of 98 to 99 % of the contaminant were obtained. It was concluded that the TiO_2 / UV electro-photo degradation method, in the acceleration of the degradation, was more efficient, having more favorable advantages that the treatment Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{2+}$), reducing the costs in reagents, pieces of iron in water that can cause health problems. It is recommended to use the catalytic electro-photo degradation method for the treatment of industrial waters.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES >, <ENVIRONMENT >, <BIOTECHNOLOGY >, <TITANIUM OXIDE IV (TiO_2) >, < PHENOL UV-VISIBLE LAMP>, <ELECTRO-CATALYTIC >, < FENTON>.

INTRODUCCIÓN

Situación problemática

La contaminación que se produce en los cuerpos de agua de las zona de Sucumbíos, son causados por los tratamientos convencionales que se realiza en el Complejo Industrial Shushufindi, Estos tratamientos convencionales en el transcurso del tiempo no han _reduciendo de una manera eficaz la concentración de los fenoles, tomando en cuenta que este compuesto presente en el ambiente se puede convertir en una amenaza para los ecosistemas que se desarrollan en el entorno, ocasionando efectos tóxicos severos , lesiones , colapsos , en el ambiente puede ocasionar daños en los cultivos , la flora y fauna provocando efectos adversos de distinta magnitud.

La explotación de este recurso no renovable está regulada por la ley de hidrocarburos, en la que declara que el estado explorara y explotara este recurso de una forma directa e indirecta a través de PETROECUADOR y sus filiales , ocasionando problemas Ambientales y sociales en la región de la Amazonia.

La construcción del Complejo Industrial de la Refinería De Shushufindi (CIS) consta de dos zonas de refinación que son Amazonas 1 y Amazonas 2 la que procesa diariamente 10.000 barriles de crudo la cual produce aguas residuales durante su refinación un promedio de 300 barriles de agua promedio la cual nos lleva a tratar y reducir los residuos resultantes que se encuentran en los tanques de almacenamiento ubicadas en dicha zona, los cuales son monitoreados y controlados por un operario encargándose de los procesos operativos de refinación de crudo generando una gran cantidad de aguas residuales para su tratamiento, realizando tratamientos primarios y secundarios para eliminar los hidrocarburos presentes.

De acuerdo a la caracterización de estas aguas residuales se determinó que existe la presencia de fenoles en un promedio de 30 mg/L cuyo valor se encuentra fuera de los límites permisibles en el reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas (RAOH).

La finalidad de este proyecto de investigación, es reducir las concentraciones de fenoles presentes utilizando dióxido de Titanio (TiO_2) adherido electroquímicamente en el reactor, utilizando un método innovador para tratar estas aguas.

Formulación del problema

En la actualidad se observa cantidades considerables de residuos de origen industrial que no tiene un tratamiento efectivo para poder descargarlas en los ríos. Estas contienen gran cantidad de contaminantes peligrosos a más de los fenoles, los que pueden ocasionar problemas en las especies que se encuentran en el lugar. Por lo cual nos vemos en la necesidad de reducir al máximo las concentraciones, principalmente para el cuidado del medio ambiente y la salud en la localidad.

ANTECEDENTES

La industria de refinación conocida como Complejo Industrial Shushufindi (CIS), se encuentra localizado en el corazón del oriente en la Provincia de Sucumbíos, empezando a funcionar casi a finales de la década de los ochenta (1987).

Teniendo como producción aproximada de 10000 barriles por día, a mediados de la década de los noventa en 1995 la producción se expandió al doble produciéndose una extracción de barriles de 20000 barriles al día, por otra parte damos a conocer que la planta de gas licuado de petrolero se construyó en 1984 en el cual se obtuvo una producción de aproximadamente 25 millones de pies cúbicos.

La planta de refinación cuenta con laboratorios de control de calidad donde se llevan a cabo análisis físico químicos de los cuerpos receptores de agua o afluentes de la actividad de refinación.

Los tratamientos primarios y secundarios que se realiza en el agua procedente de los diferentes procesos de la Refinería Shushufindi, no son eficientes, transportándolas por unas canaletas hacia una trampa de grasas, para después pasar a un desarenador y un vertedero hacia un cuerpo receptor de agua, como una manera preventiva se colocan salchichas absorbentes para evitar el paso de contaminantes flotantes.

Los tratamientos que actualmente realizan puede llegar a mejorar sus características físicas (color, turbiedad), pero sus contaminantes químicos permanecen altas, motivo por lo cual se ve la necesidad de buscar un método que permita degradar estos compuestos, proponiendo métodos innovadores, conocidos como procesos de oxidación avanzada POA, utilizando dióxido de titanio (óxido de titanio IV), adherido electroquímicamente, conocido como el método foto - electroquímico.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la responsabilidad por preservar el ambiente es muy grande. En años pasados no había una conciencia ambiental, ahora estamos experimentando nuevos cambios Ambientales por las diversas actividades industriales.

Para la preservación del ambiente se han buscado alternativas diferentes, mediante la aplicación de métodos que ayuden a degradar, eliminar compuestos orgánicos altamente tóxicos con baja degradabilidad de los mismos que se mantiene activos en los organismos vivos, generándose así un problema difícil de solucionar.

Para solucionar este problema se plantea la necesidad de realizar el presente proyecto de investigación con el fin de dar solución a las aguas tratadas proveniente del Complejo Industrial Shushufindi, el mismo que procesa el crudo.

Aplicando procesos de oxidación avanzadas POA's que consiste en un método de foto degradación utilizando Oxido de Titanio (IV) adherido electroquímicamente al reactor. El cual pretende disminuir o eliminar los fenoles presentes y proponer la presente técnica para minimizar el impacto ambiental.

Se considera como referencia un estudio desarrollado para estas mismas aguas en el que se aplicó una foto- oxidación catalítica con Oxido de Titanio (IV) adherida con silicona al reactor, obteniendo un rendimiento del 57 % con la finalidad de mejorar, se tiene como base para el objeto de estudio del presente proyecto con el fin de obtener mejores resultados, de lograr la degradación completa de este tipo de contaminantes utilizando el mismo catalizador adherido electroquímicamente al reactor.

Las industrias químicas y petroquímicas cuentan con estrictos controles para las descargas de sus aguas en los cuerpos receptores, por medio de organismos encargados de dar seguimiento a las descargas de estos efluentes. A nivel nacional (TULSMA anexo 1, libro VI) y como control internacional (EPA) Enviro mental Protección Agency

OBJETIVOS

General

- Degradar los fenoles presentes en las descargas de aguas residuales de la refinería de Shushufindi mediante foto degradación utilizando Oxido de Titanio (IV) adherido electroquímicamente al reactor para lograr su descontaminación durante el periodo 2016.

Específicos

- Adherir el óxido de titanio (IV) en el reactor mediante un proceso electroquímico.
- Determinar el tiempo y la intensidad de la luz UV- visible en el reactor para determinar el grado de descontaminación de las aguas residuales.
- Determinar el tiempo, intensidad de luz UV –Visible con el reactivo Fenton para diferenciar el rendimiento de descontaminación

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Fenol

Los fenoles son aquellas sustancias de origen tóxico que por lo general se les encuentran en ambientes acuáticos, esto se da mediante una gran variedad de fuentes industriales, biogeoquímicas y degradación de pesticidas etc., debido a la alta toxicidad de los compuestos fenólicos las agencias de protección ambiental decidió el cuidado y manejo de estos compuestos considerándoles como contaminantes prioritarios. (Altamira Diaz, 2005, pág. 2)

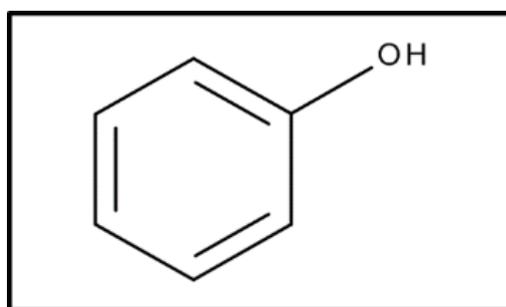


Figura 1-1 Estructura del fenol
Fuente: (EPA ,2004)

Los efectos que puede producir el fenol en el aire se desconocen, en la exposición de la piel a altos niveles tiene como consecuencias daños en hígado, diarrea, oscurecimiento de la orina y anemia hemolítica. En la fauna tiene consecuencias como irritación en sus pulmones, produciendo a exposiciones diarias, temblores musculares y pérdida de coordinación.

Tabla 1-1 Propiedades físicas y químicas del fenol

	<i>Valor</i>
Punto de ebullición °C	182
Punto de inflamación °C	79
Límite inferior de explosividad % vol.	1.36
Límite superior de explosividad % vol.	10
Presión de vapor a 20 °C Pa	47
Densidad relativa del líquido agua = 1	1.06
Solubilidad a 20° C	7
Densidad relativa de vapor aire=1	3.2

Densidad relativa de la mezcla vapor/airea 20°C aire = 1	1.001
Punto /intervalo de fusión °C	43
Temperatura de auto ignición °C	715
Formula molecular	C ₆ H ₆ O / C ₆ H ₅ OH
Peso molecular	94.1

Fuente: EPA, 2004

1.1.1 Exposición al Fenol.

El fenol podemos encontrar en forma natural y sintética, en la actividad industrial encontramos a grandes concentraciones, como es en enjuagues, lociones antisépticas, medicamentos para la garganta, se puede encontrar en el ambiente dependiendo la disposición de estos productos. (Resumen de Salud Pública: Fenol (Phenol) | PHS ATSDR n.d.)

1.1.2 Efectos para la Salud.

Si se inhala el fenol puede producir una toxicidad sistemática, cuyos síntomas pueden ser tos, vértigo, sensación de quemadura, pérdida del conocimiento. (Fenol - 99966-Fenol.pdf n.d.)

1.1.3 Aparato respiratorio.

La exposición del fenol expuesto en tiempos leves produce irritación en el tracto respiratorio, en tiempos más prolongados ocasiona inflamación en la garganta, tráquea, úlceras y edema pulmonar. (Fenol - 99966-Fenol.pdf n.d.)

1.1.4 Sistema Nervioso Central.

Si se produce una intoxicación de fenol en una forma accidental sistemática puede ocasionar depresiones, pérdida de conciencia y coma, los síntomas iniciales pueden llegar hacer nauseas, dolor de cabeza y vértigo. (Fenol - 99966-Fenol.pdf n.d.)

1.1.5 Sistema Cardiovascular.

Ocasionando la ingesta de fenol problemas cardiovasculares como taquicardia, hipotensión, graves y dañar el transporte de O₂ a la sangre. (Fenol - 99966-Fenol.pdf n.d.)

1.1.6 Sistema Renal.

La persona expuesta al fenol diariamente puede ocasionar problemas renales como fallo renal agudo y la inestabilidad de ácido- base. (Fenol - 99966-Fenol.pdf n.d.)

1.1.7 Sistema Dérmico.

Al aplicarse el fenol en la dermis penetra vertiginosamente, ocasiona quemaduras, muerte celular y próxima la gangrena. (Fenol - 99966-Fenol.pdf n.d.)

1.1.8 La industria petroquímica.

La Petroquímica es la industria que utiliza el petróleo y el gas natural como materia prima para el desarrollo de numerosos productos químicos. (J. Mondragón, 2001, página 1)

Pero en el proceso para poder obtener los derivados del petróleo como: gasolina, diésel, lubricantes, entre otros; y para su obtención se realizan una serie de procesos y técnicas que al no ser manejadas de forma adecuada pueden dar como resultado cantidades grandes de residuos procedentes de cada uno de estos procesos, los mismo que al ser desechados sin previos tratamientos al ambiente causarían serios daños a los factores bióticos y abióticos. (J. Mondragón, 2001, página 3).

1.1.9 Potenciales Impactos Ambientales De La Petroquímica.

Los principales problemas que se encuentran dentro de las industrias de refinación de crudo en el Ecuador, es existencia de contaminantes en las descargas de sus aguas residuales varían considerablemente según el proceso y el método que se aplica para minimizar los contaminantes presentes. (C. Escobar ,2009)

1.1.10 Degradación de Fenoles Totales Durante el Tratamiento de las Aguas de Producción Petrolera.

Para la eliminación o remoción de los compuestos fenólicos que se encuentran presentes en las aguas de origen residual es de mayor importancia ya que los compuestos de origen volátil son de mayor peligrosidad para los seres vivos debido a su alto grado de toxicidad, Para ellos la presente investigación se determinó o evaluó mediante la degradación foto catalítica utilizando un reactor en la cual se empleó el reactivo Fenton para su descontaminación. (Altamira Diaz, 2005, pág. 1)

Las aguas provenientes de origen residual industrial en este estado presentan una gran cantidad de contaminantes debido a que estas tienen una acción muy compleja sobre el medio donde se exponen especialmente al medio ambiente, produciendo afectaciones al desarrollo natural de los ecosistemas produciéndose cambios por su toxicidad como es en el estado físico del olor y color del agua a tratar. (Forero & Ortiz, 2005, pág. 99)

Para obtener una mejor eficiencia de la remoción de los compuestos orgánicos se pretende de una serie de combinación de tratamientos básicos como es la aplicación de la tratamientos avanzados de oxidación química, esta consiste en tomar el oxígeno y extraer el líquido mediante la absorción, este proceso actúa mediante PH ácidos para el rendimiento óptimo del tratamiento tomando en cuenta la concentración y el caudal de la corriente a tratar. (Forero & Ortiz, 2005, pág. 100)

1.2 Oxidación Química

La oxidación química no es nada más que un método que tiene por objetivo la detoxificación de los residuos mediante una transformación química de los componentes de los residuos, esto se da por medio de la adición de un agente oxidante, como ilustración podemos mostrar un ejemplo si una molécula que se encuentra en forma orgánica puede ser transformada en dióxido de carbono y agua y obteniendo como productos intermedios que pueden ser menos tóxicos que el original que se tuvo. (Greca, 1998, pág. 588)

Por lo general las reacciones de oxidación y reducción se suelen producir o presentar en parejas esto quiere decir que se constituyen en una reacción redox global, para lo cual al emplear tratamientos de residuos peligrosos mediante la oxidación química se procede añadir un agente oxidante para la oxidación de los componentes de interés de los residuos que estemos tratando, los agentes oxidantes actúan como agentes reductores. (Greca, 1998, pág. 589).

1.2.1 Oxidación Avanzada.

Constituye en estos días una de las tecnologías más utilizadas para los tratamientos de aguas procedentes de las industrias, los de mayor expectativa son los de fotooxidación como es:

- Fotolisis
- Fotocatálisis

Se conoce como un proceso de formar radicales libres (OH⁻), pueden iniciar reacción de oxidación, que conduce a la mineralización completa de los compuestos orgánicos. (L.GÓMEZ, 2000), (G. Pavas, 2003).

Teniendo como ventaja:

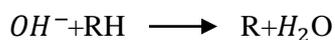
- Llevar a cabo una mineralización profunda de los contaminantes orgánicos y los compuestos inorgánicos.
- Evita la formación de subproductos tóxicos presentes en los contaminantes originales que se pueda crear.
- Descomposición de reactivos utilizados como oxidantes.

1.2.2 Descripción del Proceso.

Para la descripción o realización de la oxidación química se realiza totalmente en tanques mixtos o contenedores llamados reactores de flujo pistón, la muestra es conocida como agua contaminada es introducida esta puede entrar por la parte superior del tanque y el agua en este caso tratada saldría por la parte opuesta por donde ingreso , luego procediendo el procedimiento el agente oxidante es introducido o inyectado al interior del agua residual (la muestra) exactamente antes de que entre en el interior del tanque, en la cual se debe proporcionar en parte iguales una mezcla completa del agua con el agente oxidante , por lo general se procede a realizar una mezcla o agitación de forma mecánica teniendo en cuenta el burbujeo y la caída de presión dentro del tanque. (Greca, 1998, pág. 589)

1.2.3 El Peróxido de Hidrogeno.

El peróxido tiene el mismo principio de funcionamiento que el ozono funciona de manera similar al O_3 en el cual al someterse a un catalizador de hierro este se separa o produce radicales libres como es el radical OH^- este radical tiene una característica al presentarse en forma libre tiene la propiedad de reaccionar con componentes orgánicos produciendo así un radical orgánico reactivo en la cual se mostrara en la siguiente ecuación que se planteara.



Mediante resultados de estudios pilotos iniciales se observa o demuestra que el 99 por 100 del fenol C_6H_6O es destruido esto se da mediante la eliminación o reducción de la precipitación del cromo Cr^{6+} , producto del empleo de la adición de 2,5 g de peróxido de hidrogeno por cada gramo de fenol, sin duda este puede ser eliminado mediante la adición de 7:1 Peróxido H_2O_2 / **fenol** C_6H_6O producto de este comportamiento se produce la liberación de O_2 gas y este a su vez produce el aumento de la temperatura del residuo que oxila muy por encima de los 70 °F. (Greca, 1998, pág. 600)

1.2.4 Descripción de los Procesos.

En esta redacción se mostrara los tres diferentes procesos de interés en la gestión de los residuos considerados peligrosos entre ellos tenemos: (Greca, 1998)

- Electrodiálisis
- Osmosis Inversa
- Ultrafiltración.

1.2.4.1 Electrodiálisis

Es un proceso o método que trata en la separación de los componentes iónicos de la muestras esto se da mediante la aplicación de un campo eléctrico de forma directa, este método de la electrodiálisis se emplea o se utiliza a nivel general de la industria para la obtención o reciclación de metales y purificar el agua. (Greca, 1998, pág. 615)

1.2.4.2 Osmosis Inversa.

La osmosis inversa consiste en la separación de un solvente de una solución mediante la aplicación de una fuerza o presión esta fuerza produce un forzamiento en el paso del solvente a través de una membrana semipermeable. (Greca, 1998, pág. 618)

1.2.4.3 Ultrafiltración.

La ultrafiltración consiste en la separación de los solutos del solvente, en función del tamaño y forma a nivel molecular, este procedimiento o técnica consiste en hacer pasar la solución a través de una membrana donde es ejercida una presión en ambos sentidos de la misma. (Greca, 1998, pág. 621)

1.3 Fotocatálisis.

La fotocatalisis se basa en la eliminación de compuestos químicos que se encuentran presentes en las aguas residuales este método consiste en proporcionar la energía de los contaminantes presentes en energía de forma de radiación esta a su vez se puede permeabilizar por las moléculas de los contaminantes, este proceso de fotocatalisis se produce por lo general en presencia de luz ultravioleta UV, para desintegrar los compuestos de forma orgánica este método funciona u opera en una longitud de onda aproximada de (210 – 230 nm) produciéndose radicales libres. (Garces Giraldo, 2003).

1.3.1 La Reacción Solar y la Aplicación en la Fotocatálisis.

Inicio del siglo XX se realiza en un microscopio la interacción de la materia con la luz, estudiándola como un proceso de absorción de un fotón que conlleva la creación de un par de electrón-hueco o la destrucción de un fotón creando excitaciones. (Franco C., 2000).

La materia intercambia con la luz en un rango de longitud de onda (240 -700 nm).la luz solar es una energía, primaria, más barata y es absorbida con facilidad por compuestos químicos para producir procesos foto catalíticos. (S. Marín, 2002).

1.3.2 Electroquímica.

Este proceso se toma en cuenta dos elementos fundamentales:

- Reacciones de reducción (electrones negativos o llamados cátodos)
- Oxidación(electrodo positivo o llamado ánodo)

Los contaminantes presentes pueden ser tratados por dos formas ya sean por oxidación o reducción, intercambiando electrones entre sí, estos tratamiento pueden incluir tratamientos directos e indirectos, aplicando pares redox o electro generando agentes oxidantes.

1.3.3 Fotolisis.

Se basa en propiciar energía a los contaminantes químicos en forma de radiación, que es absorbida por las moléculas presentes para alcanzar su grado de excitación, en tiempos necesarios para experimentar reacciones.

Tiene proceso en el estado de dominio de (210 – 230 nm) y forma radicales libres.



En este proceso de oxidación se utiliza una lámpara de mercurio de baja presión (254 nm, 471 KJ/mol) empleadas tanto en la desinfección como en la depuración de las aguas.

Sin embargo es necesario llevarlas a longitudes de onda más bajas (170-200nm), ya que llevan asociada una mayor energía (704-598 KJ/mol) y son más eficientes en la ruptura de los enlaces de los compuestos orgánicos. (S. Marín y Juan .M ,2002).

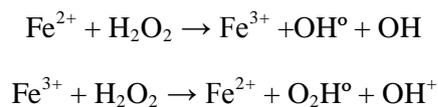
1.3.4 Fotoxidación.

La luz proporciona reacciones de oxidación, causadas por la presencia de radicales libres. Para que se obtenga buenos resultados se necesita la presencia de agentes oxidantes, los que ayudan a la formación de radicales libres. Los agentes oxidantes más utilizados son peróxido de hidrogeno, el ozono etc. La combinación de peróxido de hidrógeno y la luz ultra violeta es muy atractivo un agua con alta cantidad de pureza. A finales de los años sesenta muchos autores ha demostrado el éxito en la fotoxidación con peróxido (Garces Giraldo, 2003).

1.3.5 Fotocatálisis con reactivo Fenton.

La incorporación de sales de hierro como catalizador en presencia de peróxido de hidrogeno .conocida como reactivo Fenton, es un método antiguo que produce radica les libres, a un pH de (3-5), el hierro puede ser incorporado como sal Ferrosa o Férrica, iniciando unas reacciones para eliminar la materia oxidable. (Vidal, A., 2002).

A continuación el detalle de la reacción.



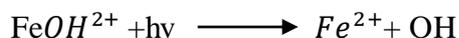
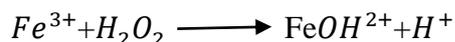
1.3.6 Fotocatálisis Heterogénea.

La fotocatálisis consiste en un semiconductor foto catalítica este debe entrar en contacto con un líquido entrar en contacto con un medio de reacción gaseosa, a continuación indicaremos la diversidad de semiconductores que se utilizan para la fotocatálisis heterogénea entre ellas tenemos: (Ugarteburu, 2013, pág. 4)

$\text{CdS}, \text{ZnS}, \text{SnO}_2, \text{WO}_3, \text{SiO}_2, \text{ZrO}_2, \text{ZnO}, \text{Nb}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$

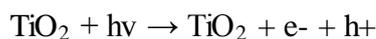
1.3.7 Fotocatálisis Homogénea.

Este proceso se describe a la adición de los reactivos mezclados durante el proceso entre estos componentes tenemos el peróxido de hidrogeno más el hierro Fe^{2+} , el proceso Fenton consiste en la mezcla de un medio acido presente el ion Fe^{2+} y presente el peróxido de hidrogeno, para conseguir un resultado de reducción del Fe^{2+} a hierro Fe^{3+} esto se da gracias a la adición del peróxido de hidrogeno ya que es un compuesto que tiende a oxidarle al hierro con presencia de la energía luminosa para entender mejor a continuación describiremos la siguiente ecuación ilustrada. (Romero, 2015, pág. 23)



1.4 Fotocatálisis Heterogénea Con óxido de Titanio (IV) (TiO₂)

La Fotocatálisis es la combinación de la fotoquímica con la fotocatalisis (luz y catalizador) los que son necesario para alcanzar o acelerar una reacción química. Puede ser definida también como la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador. En el caso de la fotocatalisis heterogénea se emplea catalizadores semiconductores, los foto sensibilizadores pueden ser: Al₂O₃, ZnO, Fe₂O₃ y TiO₂. , el más beneficioso es el Óxido de Titanio (IV) Degussa p25 en forma anatasa 99% y en forma de rutilo 1%, teniendo una mayor actividad foto catalítica, no es toxico, estable en soluciones acuosas y bajo costo. (Hincapié P., 2003).



1.4.1 Longitud de Onda e Intensidad de la Luz.

El Óxido de Titanio (IV) tiene la capacidad de absorber longitud de ondas inferiores a 400 nm, que corresponde al espectro UV. Cualquier radiación con estas características tendrá la capacidad de generar en el semiconductor par de electrones –huecos. La penetración dentro de la partícula de TiO₂ es más corta cuando la longitud de onda es menor ya que son absorbidas por las moléculas semiconductoras con mayor fuerza. (S. Marín, 2003).

1.4.2 Catalizador.

Si se emplea el catalizador con mayor dosis, mayor ser la eficiencia, efecto de la turbidez ocasionado por las partículas aumenta la dificultad de difusión del ultravioleta.

La utilización de partículas de TiO₂ ocasionan a la aparición de solidos suspendidos, por eso es fundamental separar las partículas de TiO₂ antes de su vertidos o reutilización. (Garcés Giraldo, Luis F.2003).

1.4.3 Temperatura y PH.

Las variaciones de las temperaturas no afectan en las reacciones fotocatalíticas, con respecto al pH no afecta en los tratamientos con TiO₂, ya que se han obtenido buenos resultados en diferentes pH. Se recomienda a un pH diferentes a punto isoeléctrico para el TiO₂ (< 7). (Hincapié Pérez, Margarita y Sepúlveda Marín, Juan M, 2003).

1.4.4 Colector o Reactor Solar.

Se puede definir como la relación entre la cobertura o el área de superficie de captación y el área del reactor. El diseño de estos reactores se ha enfocado en diseño de concentración y sin concentración. La primera tiene la ventaja el área de tener tubos menor, lo que puede significar menor y con posibilidad de manipular el agua a tratar. El segundo tiene la posibilidad de aprovechar los dos componentes de la radiación (directa y difusa) su eficacia puede ser muy alta, son de bajo costo, desventaja que puede ser su flujo laminar o de transferencia de materia. (Márquez L., Héctor y Tiscareño L., 1999).

1.4.5 Oxido de Titanio (IV).

Hoy en día se busca nueva tecnología que nos permitan dar soluciones a los problemas que nos aquejan al medio ambiente, empleando la luz como un posible mecanismo de eliminación o desinfección para las aguas residuales, dentro de estos procesos de oxidación avanzados tenemos la fotocatalisis heterogénea la misma que tiene como principio fundamental la irradiación de un semiconductor para establecer o formar radicales libres como es el OH y por culminación la obtención de la oxidación de los contaminantes.

En este estudio de investigación se muestra la capacidad que tiene el Óxido de Titanio (IV) para absorber la radiación UV, se debe también conocer que el Óxido de Titanio (IV) tiene un carácter estable e inerte la cual le hace un reactivo muy apto para su empleo como catalizador. (Romero, 2015, pág. 25)

1.4.6 Soporte del Foto catalizador.

1.4.6.1 Carbón Activado.

Este material como es el carbón activa es de origen sólido poroso que suele derivarse de los materiales de proveniencia carbonosa a su vez tiende a ser un componente vegetal, como por ejemplo la madera y la cascara de nuez, el carbón activado tiene un proceso de obtención a partir de 2 fases o etapas la Primera se obtiene por pirolisis y la segunda por activación.

Cuando se habla de la pirólisis de la materia prima esto se suele dar o presentar en atmósferas inertes durante esta técnica o proceso los elementos como (O, H, N) son eliminados de completo en especies gaseosas tales como (CO_x , NO_x). (Romero, 2015, pág. 29)

1.4.6.2 *Química Superficial del Carbono.*

Consiste en la intervención de los factores que interactúan sobre la capacidad de absorción del material absorbente por lo general esto trata en la modificación de sus propiedades físico químicas, por lo cual esto permite que se adapte al carbón activado produciéndose el resultado de caracterización de la sustancia absorbida.

Uno de los métodos o técnicas que se emplea para la modificación de la parte química superficial del material, consiste en la oxidación de su superficie, en este proceso de oxidación a nivel superficial se debe someter al absorbente a un tipo de agente oxidante empleado que es ácido nítrico y el peróxido de hidrógeno. (Romero, 2015, pág. 30)

1.4.7 *Oxidación Foto catalítica de los Fenoles.*

Los compuestos aromáticos como el fenol es un compuesto orgánico que contamina al medio ambiente por lo general al medio acuático debido a la actividad industrial que se presenta en las zonas de influencia, el fenol al ser considerado un fuerte contaminante tóxico para las aguas, se determinó que al presentarse en bajas concentraciones los fenoles pueden causar alteraciones cancerígenas a los seres vivos.

Según estudios de investigación obtenidos se muestra que la degradación de estos contaminantes aromáticos como es el fenol, al ser sometidos a procesos de oxidación foto catalítica que se realizó a nivel de laboratorio reacciona a compuestos de primer orden. (Romero, 2015, pág. 33)

1.4.8 *Oxidación Foto catalítica del Cianuro.*

El cianuro es un compuesto que se encuentra por lo general en los compuestos que se está estudiando dentro de este estudio de investigación en aplicaciones de fotocatalisis, esta aplicación es utilizada ampliamente en la industria de extracción minera, es utilizado como agente de lixiviación para la recuperación u obtención del oro.

El método empleado es el químico, utilizando el proceso de cloración alcalina es una de las mejores técnicas de disponibilidad pero esta tiene una limitación consiste en la formación excesiva del gas cianhídrico (HCN), este gas es de origen altamente tóxico, producto de la

actividad generada el cianuro sobrante tiende a mezclarse con el lodo produciendo un problema continuo dentro de la actividad , unos de los métodos más acertados para la degradación del cianuro es la desintoxicación mediante la oxidación catalítica con semiconductores y luz ultravioleta UV. (Romero, 2015, pág. 34).

1.5 Normativa.

La concentración de compuestos fenólicos, expresadas como fenol no debe superar los 0,02 mg/L que indica en la norma de recursos de aguas Anexo 1 Libro VI, sobre los límites de descarga a un cuerpo de aguas dulce que detallo a continuación.

Tabla 2-1 Parámetro del Fenol en la normativa

PARAMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAX PERMISIBLE
Aceites y gasas	Sustancias soluble en hexano	mg/l	0.3
Alkil Mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico Total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro Total	CN	mg/l	0.1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Extracto carbón Cloroformo ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl^-	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml	mg/l	Remoción < 99.9 %
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo Hexavalente	Cr^{+6}	mg/l	0.5
Demanda bioquímica	DBO_5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fosforo Total	P	mg/l	1

Fuente: Normativa de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes.

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Unidad de estudio

La presente investigación es de tipo:

- Descriptiva
- Comparativa
- Correlacional.

La investigación descriptiva y comparativa consiste en recolectar muestras con el propósito de analizar el comportamiento, tratando de “controlar” otras variables que puedan afectar la variable estudiada (Sánchez y Reyes, 1996, Alarcón, 1991).

En este estudio podemos diagramar con las siguientes combinaciones:

Tabla 3-2 Combinaciones de variables de tratamientos

Muestras	Observaciones	Variable controladas
Muestra Refinería	O1	X1

Elaborada por: (Katherine Villamarin, 2017)

La cual se analizara, como muestra la siguiente combinación:

Tabla 4-2 Combinaciones de tratamientos

Tratamiento	Muestras	Variable controladas
Foto-electroquímico	M1	X1
Fenton	M1	X2

Elaborada por: (Katherine Villamarin, 2017)

2.1.1 Localización

El Complejo Industrial Shushufindi se haya ubicado en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi (Ecuador) ubicada a 18 M0315528.

2.1.1.1 Coordenadas

- **Latitud:** 0°12'0.58"S
- **Longitud:** 76°39'29.48"O
- **Altitud:** 261 msnm.
- **Temperatura promedio:** 22 a 35 °C



Figura 2-2 Refinería Shushufindi
Fuente: Google eart, 2017

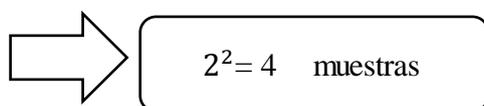
2.1.2 Población de estudio

La población de estudio que se tomara como unidad de análisis son las muestras de fenol presente de las aguas residuales provenientes de la refinería de Shushufindi CIS, las cuales se analizaron.

2.2 Toma de muestra

El diseño que se implantara será un diseño factorial 2^k ya que es un diseño inteligente y sencillo ya que utilizaremos dos tipos de factores y niveles en nuestra investigación.

Tipo De Tratamiento	Factor PH	Variable Respuesta
Fenton	acido	concentración
Foto electro- químico	acido	concentración



2^1	2^0	
T1	A	} X 3 = 12
T2	A	

Los factores que intervienen en esta investigación serán el tipo de tratamiento que se emplea y el factor PH que se va a controlar durante este estudio.

Para este trabajo de titulación se toma como tamaño muestral las 12 muestras obtenidas por medio del diseño experimental de tipo factorial.

Este tipo de estudio es experimental orientada a la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas de descarga por fenoles procedentes de la industria petroquímica CIS

2.2.1 Tipos de variables

2.2.1.1 Variable dependiente

Porcentaje de degradación de los fenoles en las aguas residuales

2.2.1.2 Variable independiente

- Adhesión foto electroquímica-reactor
- Tiempo y la Intensidad de la luz UV-visible en el reactor.
- Tiempo y la Intensidad de la luz UV-visible con el reactivo Fenton en el reactor.

2.3 Métodos y Técnicas

Los métodos que se realizaron para llevar a cabo el estudio son:

2.3.1 *Recolección de la Muestra.*

Para la toma de las muestras en la refinería Shushufindi seguimos los pasos siguientes:

Preparación de los envases, transporte, preparación del equipo de muestreo necesario (guantes, botas industriales, mascarilla, equipo de protección personal), para la recolección (frascos de vidrio ámbares nuevos: los cuales procedemos a lavarlos con el agua que se va a tomar las muestras), cooler.

En la entrada de los decantadores, agua de salida, procedemos a la recolección de tomas de muestras compuestas en un lapso de 8 horas, tomando cada media hora 500 ml, seguido se integró las muestras homogenizando, se procedió a tomar una muestra representativa de 2 litros para su posterior tratamiento.

Tomando en cuenta que para conservar su característica requiere un tiempo Prudencial de 12 a 24 horas máximas. Procedimos a su etiqueta de información, posterior a su traslado.

2.3.2 *Análisis de las muestras en el Equipo HACH DR-2800 mediante el Método 470.*

Una vez que obtuvimos la muestra de las aguas residuales procedimos a medir en el espectrofotómetro HACH DR- 2800 las concentraciones presentes de fenol en la muestra.

Sabemos que el HACH DR- 2800 es un equipo que proporciona más de 240 métodos de análisis programados en los análisis de aguas.

Para la determinación de fenoles en el agua se programó en método 470 HACH DR-2800.

Se debe tomar en cuenta para la lectura en el equipo lo siguiente:

- Se necesitó un blanco para la lectura (se realizara con agua destilada laboratorio Alcoholimex 300 ml)
- 2 embudos de separación (con sus tapas), soporte universal y pinzas.
- Kit de viales fenol 1 PHENOL (laboratorio **PERMACHEM REAGENTS**) y fenol 2 PHENOL 2.(laboratorio **PERMACHEM REAGENTS**)
- Ácido fosfórico (H_3PO_4) al 10% (OXIQUIMS.A)
- Cloroformo.

Tabla 5-2 Pasos para determinar las concentraciones de fenol en HACH DR-2800.

Se midió 300 ML agua destilada del laboratorio Alcoholimex para tener el blanco	Se colocó en un embudo separación los 300 ml de agua destilada del laboratorio alcoholimex	Se colocó en el otro embudo separación 300 ml del agua de muestra CIS
Añadió 5 ml de H ₃ PO ₄ (10%) en cada embudos	Agitamos por un 1 minuto cada uno de los embudos (1-2)	Añadimos en los dos embudos el sobre de fenol 1 y agitamos por unos 2 minutos hasta que se diluya por completo
Volvemos añadir en los embudos el sobre de fenol 2, agitamos por unos 2 minutos hasta que se diluya por completo.	Después colocamos en los embudos 30 ml de cloroformo y agitamos.	Abrimos y cerramos las llaves para la ventilación de los embudos.
Si hay presencia de fenol formara capas de color amarillo y ámbar	Agitamos vigorosamente 30 segundos, cada embudo.	Vaciar en la celda de equipo 10 ml, realizar la lectura en el HACH DR- 2800.

Elaborado por: (Katherine Villamarin, 2017)

➤ **Calculo De H₃PO₄(10%)**

Datos:

Densidad de H₃PO₄(10%): 1.0536 g/ml

Peso molecular: 98 g/mol

Normalidad de H₃PO₄(85%):29.06 g/ml

$$C_2 = 1.0536 \frac{g \text{ solucion}}{ml \text{ solucion}} * \frac{10 g \text{ de } H_3PO_4}{100 g \text{ solucion}} * \frac{1 mol H_3PO_4}{98 g H_3PO_4} * \frac{2 eq H_3PO_4}{1 mol H_3PO_4} * \frac{1000 ml}{1 l}$$

$$C_2 = 2.15 \frac{g}{ml} H_3PO_4$$

$$C_1 x V_1 = C_2 x V_2$$

DATOS

C₁: 29.06 g/ml

V₁: 1000 ml

C₂: 2.15 g/ml

V₂:?

$$V_2: \frac{29.06 \text{ g/ml} \cdot 1000 \text{ ml}}{2.15 \text{ g/ml}}$$

$$= 73 \text{ ml}$$

2.4 Preparación de la solución patrón de fenol

Para la preparación de la solución patrón a concentraciones de 25 ppm fenoles, se necesitó agua destilada, el reactivo de fenol en estado sólido pureza (99,8%) laboratorio Biopack, vidrio reloj, espátula, reloj de vidrio, un balón de aforado 1000 ml y una balanza analítica.

Calculo

Densidad: 1,06 g/ ml

Pm: 94,11 g

% Peso: 99

$$\text{Solución Madre Fenol} = 2 \text{ g} \cdot \frac{100 \text{ g peso}}{99 \text{ g peso}}$$

2 gramos de fenol en 1 litro de agua

Se preparó 2000 ppm de fenol como solución madre.

2.4.1 Preparación de soluciones de fenol a distintas concentraciones.

Las disoluciones se prepararon de la se prepararon de la misma forma de la solución madre, en este caso se tomó pequeños volúmenes partiendo de la concentración conocida que es de 25 ppm y aforando en 250 ml a continuación detallamos los cálculos realizados.

C_1 : 2000 ppm

V_1 : ?

C_2 : 25ppm

V_2 : 250 ml

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{25 \text{ ppm} \times 250 \text{ ml}}{2000 \text{ ppm}}$$

$$V_1: 3,13 \text{ ml}$$

CALCULO 20 PPM

C_1 : 2000 ppm

V_1 : ?

C_2 : 20 ppm

V_2 : 250 ml

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm} \times 250 \text{ ml}}{2000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

CALCULO 15 PPM

C_1 : 2000 ppm

V_1 : ?

C_2 : 15 ppm

V_2 : 250 ml

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{15 \text{ ppm} \times 250 \text{ ml}}{2000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 1,8 \text{ ml}$$

CALCULO 10 PPM

C_1 : 2000 ppm

V_1 : ?

C_2 : 10 ppm

V_2 : 250 ml

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ ppm} \times 250 \text{ ml}}{2000 \text{ ppm}}$$

$$V_1: 1,2 \text{ ml}$$

CALCULO 5 PPM

$$C_1: 2000 \text{ ppm}$$

$$V_1: ?$$

$$C_2: 5 \text{ ppm}$$

$$V_2: 250 \text{ ml}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ ppm} * 250 \text{ ml}}{2000 \text{ ppm}}$$

$$V_1: 0,6 \text{ ml}$$

2.5 Elaboración de la curva de calibración.

Teniendo las concentraciones de fenoles de (5-10-15-20-25) ppm partiendo de la solución madre se procedió a exponer por medio de la luz Uv- visible para determinar el grado de degradación en mg/L, midiendo en el HACH DR DR-2800, posterior mente se midió el espectro de cada uno de las disoluciones.

2.6 Diseño y construcción del reactor.

Se colocó dentro del reactor láminas de acero previamente dopadas de TiO_2 (**laboratorio:** Novachem; **densidad:** 2,26 g/ml) electroquímicamente, con electrodos (cátodo de grafito y un ánodo de acero) sometida a calcinación de 450°C por 2h, repetir tres veces, el reactor está conectado con una fuente de poder , una lámpara de mercurio UV- visible (AQUA MEDIC, **voltaje:** 120 v-60 Hz, **corriente de entrada :** 0,2 A, **For lamp:** 5-9-11 W) , bomba de agua (**HJ-1141 voltaje:** 110v/60 Hz , **altura máxima :** 1,6 m, **caudal max:**1000 L/h , **power:** 22 w)

2.7 Preparación del recubrimiento de TiO_2 electroquímico en el acero.

Se utilizó como base unas láminas de acero, desgrasando previamente con acetona durante una hora, dejando secar a temperatura ambiente, la solución para recubrir el acero es de 10 gramos de TiO_2 del polvo DEGUSA P-25 disuelta en una mezcla de 20 ml de alcohol isopropílico (2-

propanol) y 80 ml de agua destilada, formando una solución gelatinosa sumergiendo las barras de acero en su totalidad. Se empleó un ánodo de acero y un cátodo de grafito aplicando una potencia de 19 V durante 2 minutos, dejando secar a temperatura ambiente y posterior llevar a calcinación durante 1 hora a 450°C.

Una vez que obtuvimos el producto deseado se colocó en el reactor para su posterior tratamiento.

2.8 Tratamiento de las aguas Residuales Refinería Shushufindi (CIS).

Ya instalado y recubierto con TiO_2 electroquímicamente se llevó acabo el tratamiento por duplicado en este sistema para ver la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Se tomó 500 ml del agua a tratar (aguas residuales de la refinería Shushufindi), con la ayuda de una bomba de agua 3/8 **HJ-1141 voltaje:** 110v/60 Hz, **altura máxima:** 1,6 m, **caudal Max:** 1000 L/h , **power:** 22 w) , traslado el agua hacia el interior del reactor recubierto de TiO_2 por el lapso de 3 horas , se prosiguió a coger muestras de aguas cada 10 minutos por 1 hora, cada 20 minutos por 1 hora y cada 30 minutos por 1 hora, en total se recolecto 11 muestras, se dejó decantar la muestras por un lapso de tiempo ,se realizó la lectura en el espectrofotómetro **HACH DR-2800** por el método 470 la degradación que obtuvo el tratamiento en cada lapso de tiempo.

2.8.1 Tratamiento aguas residuales CIS método Fenton

Este tratamiento consistió en el empleo de peróxido de hidrogeno H_2O_2 (110 volúmenes) más una sal de Mohr: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de hierro hepta-hidratado).

Se colocó 2 ml de H_2O_2 en los 500 ml a trata del agua residual, se preparó 0,155 gramos de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 100 ml de agua destilada (**laboratorio:** alcoholimex) en un aforo, se cogió una alícuota de 10 ml de la dilución a 100 ml de agua destilada, colocando en la muestra a tratar, se prosiguió los pasos anteriores detallados, tomando pequeñas muestras en los lapsos de tiempos indicados anteriormente para su respectiva valoración

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis y discusión de resultados.

En este capítulo se presentara los resultados obtenidos en el equipo en los diferentes procesos empleados bajo estudio:

- Tratamiento comparativo con una solución de TiO_2 como catalizador eficiente en el reactor
- Tratamiento electroquímico en las barrillas de acero interno del reactor
- Tratamiento de Fenton, tiempo e intensidad de luz UV – visible para degradar.

3.1.1 Localización de la experimentación.

La realización del proyecto se lo hizo en el laboratorio de suelos ubicado SE -143° (N-1° 39' 8"; E-78°40' 31") de la faculta de Ciencias-Químicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado ciudad de Riobamba en el k1 ½ vía Guayaquil bajo la supervisión del tutor Dr. Fausto Yaulema y el Asesor de Tesis Ing. Carlos Medina.

3.1.2 Elaboración de las muestras.

Las aguas de la refinería de Shushufindi CIS fueron recolectadas en los puntos de descargas, mediante un muestreo compuesto por 8 horas tomando cada media hora 500 ml, analizando principalmente las características físicas in situ, con sus respectivos etiquetados, para ser trasladada al lugar de estudio en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.1.3 Muestreo de las concentraciones iniciales.

Las características físicas que tenían estas aguas eran las siguientes:

Tabla 6-3 Datos de muestreo

Lugar de muestreo	Complejo Industrial Shushufindi (CIS)
Muestreo	Compuesta
Puntos de descargas	2
pH	5,14

Concentración de fenol	50 ppm
Temperatura	25°C

Elaborado por: (Katherine Villamarin ,2017)

3.1.4 Tratamientos empleados en la degradación de fenoles

- **Curva de calibración concentraciones bajas.**

Se realizó concentraciones bajas de fenol con una pureza del 99,9 % y aguas destilada, fueron medidas en el espectrofotómetro (270 nm) y medida su concentración en ppm diferentes equipos.

Tabla 7-3 Longitud de onda a bajas concentraciones del Fenol

Ppm	ABS
5	0,015
10	0,037
15	0,06
20	0,074
25	0,09

Elaborado por: (Villamarin. Katherine, 2017)

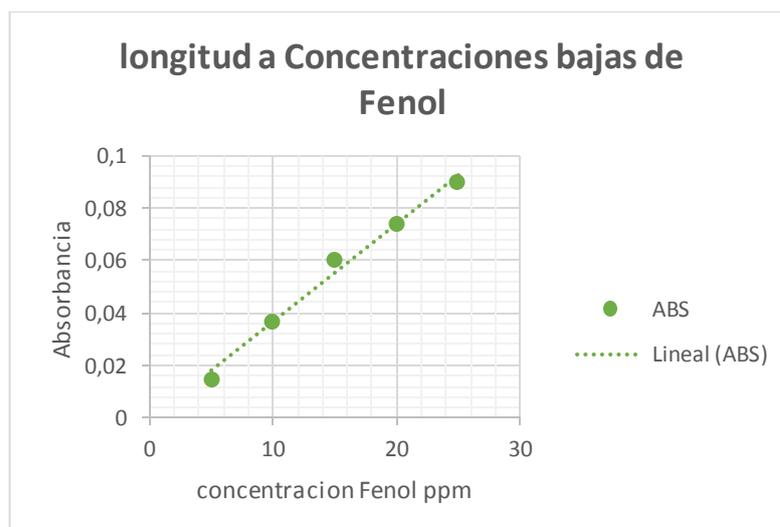


Gráfico 1-3 Concentraciones bajas de fenol

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Tabla 8-3 Bajas concentraciones de fenol

PPM	CONCETRACION
5	0,004
10	0,008
15	0,013
20	0,018
25	0,023

Elaborado por: Villamarin. K, 2017

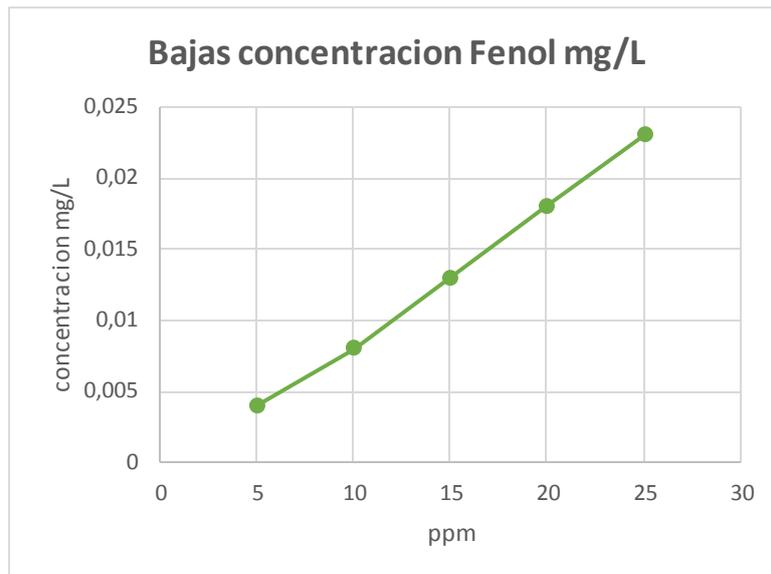


Gráfico 2-3 Bajas concentraciones de fenol
Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

3.1.5 Tratamiento con una solución comparativa de TiO_2 (250 -50) ppm y la luz UV-Visible

Este proceso tiene como finalidad comparar la eficiencia que tiene el TiO_2 en el agua residual de una forma directa en una muestra que contiene 50 ppm de fenol y la lámpara de luz UV-Visible.

Cuyos resultados fueron los siguientes:

Tabla 9-3 Concentración TiO_2 50 ppm

DATOS	
Fenol	50 ppm
TiO_2	50 ppm

Elaborado por: (Katherine Villamarin, 2017)

Tabla 10-3 Lectura de resultados

tiempo minutos	Concentración
10	0,80
80	0,60
180	0,3

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

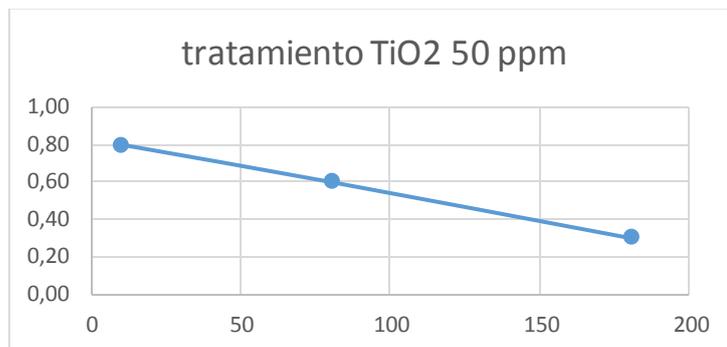


Gráfico 3-3 Tratamiento

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Tabla 11-3 Concentración TiO₂

DATOS	
fenol	50 ppm
TiO ₂	250 ppm

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

Tabla 12-3 Resultados

Minutos	Concentración fenoles(TIO2)
10	2,1
80	0,5
180	0,3

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

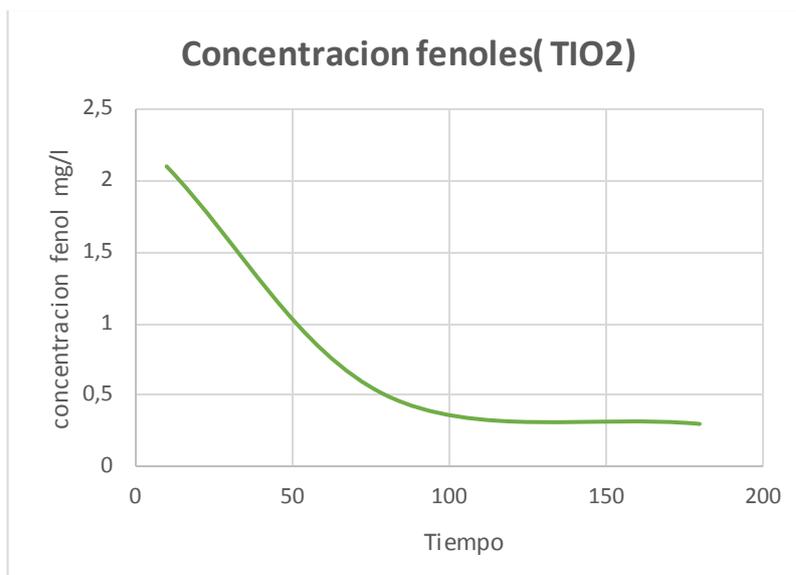


Gráfico 4-3 Concentraciones Fenoles
Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Decisión: Se observa la eficiencia del catalizador en el agua, a medida que pasa el tiempo las concentraciones de fenol se va degradando, transformando en radicales hidroxilos a partir del agua, estimando un porcentaje de 98%, interpretando que no se necesita mayores cantidades, ya que puede ocasionar turbidez, desperdicio de reactivos y el mismo porcentaje de degradación de los fenoles en concentraciones de 50 mg/L TiO_2

3.1.5.1 Tratamiento Fenton + luz UV-Visible agua de la refinería fenol 30 ppm

En este tratamiento se realizó a un pH ácido 5,14 para la oxidación del contaminante mediante el proceso FENTON (sal de hierro **laboratorio** (lobachemie), peróxido de hidrogeno (110Volumen) en lapsos de 10-80-180 minutos de tiempo, tomamos pequeñas muestras para determinar la concentración de fenoles presente, obteniendo los datos siguientes:

Tabla 13-3 Datos de reactivos

DATOS		
Peróxido de hidrogeno	2ml	
Concentración de Fenol	30 ppm	
FeSO ₄ (sal de Hierro)	0,155 g /100 ml agua destilada	cogió 10 %(ML) en 100ml agua destilada

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

Tabla 14-3 Muestras tomadas y sus repeticiones:

tiempo	muestra1	muestra2	muestra 3	promedio muestras
10	2,75	2,5	2,1	2,5
30	2	2,1	2	2,0
80	1,8	1,8	1,5	1,7
180	1,2	1,5	1,7	1,5

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Tabla 15-3 Resultados

tiempo minutos	Concentración 30 ppm Fenol + T.(FENTON + LUZ UV)
10	2,5
30	2,0
80	1,7
180	1,5

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

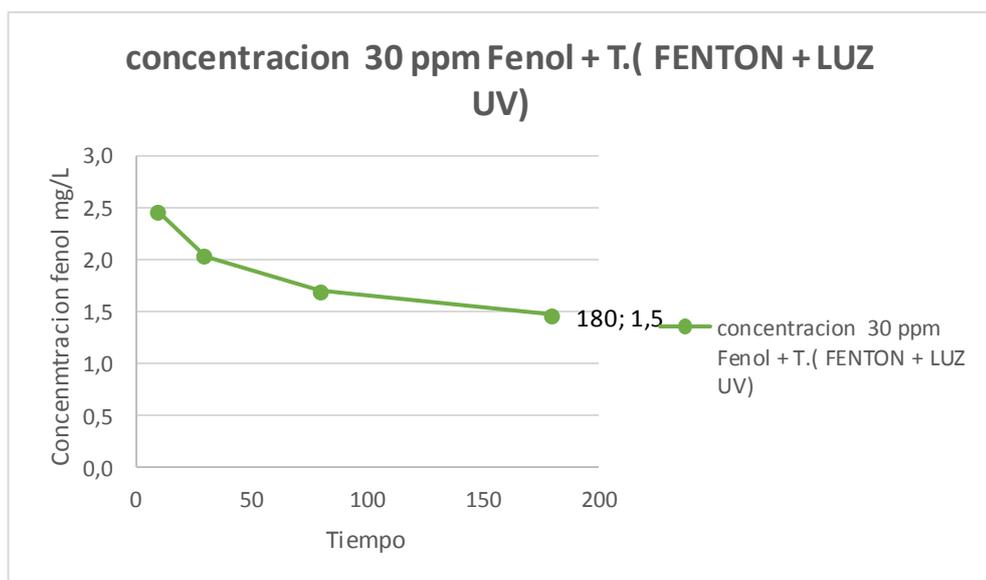


Gráfico 5-3 Resultados de la Concentración 30 ppm fenol

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Decisión: se compara los resultados de la degradación empleando tratamiento Fenton ($H_2O_2 + Fe^{2+}$) son muy factibles para la degradación de los fenoles presentes de las aguas residuales de la refinería, este tratamiento sería una forma muy aceptable, pero tiene desventajas:

- Mayor costos en adquisición de reactivos (peróxido de hidrogeno y sales de hierro).
- Presencia trazas de hierro en el agua, se tendrá que buscar un tratamiento posterior para evitar efectos en la salud.

3.1.5.2 Tratamiento electroquímico + luz UV-Visible agua de la refinera fenol 30 ppm

En este tratamiento se empleó el baño electroquímico con el catalizador TiO_2 en las barras de acero adhiriendo luego en la parte interna del reactor para la oxidación del contaminante se prosiguió a la toma de muestras en lapsos de 10-80-180 minutos de tiempo, determinando la concentración de fenoles presentes cuyos datos son los siguientes

Tabla 16-3 Datos del tratamiento electroquímico

DATOS	
Baño electroquímico	placa de acero adherida en el reactor
Agua de la refinera	Concentración fenol: 30 ppm ; cantidad: 500 ml

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

Tabla 17-3 Resultados

tiempo minutos	Concentración Fenol 30 ppm con el T. electroquímico
10	10,5
30	6,4
80	3,6
180	2,3

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

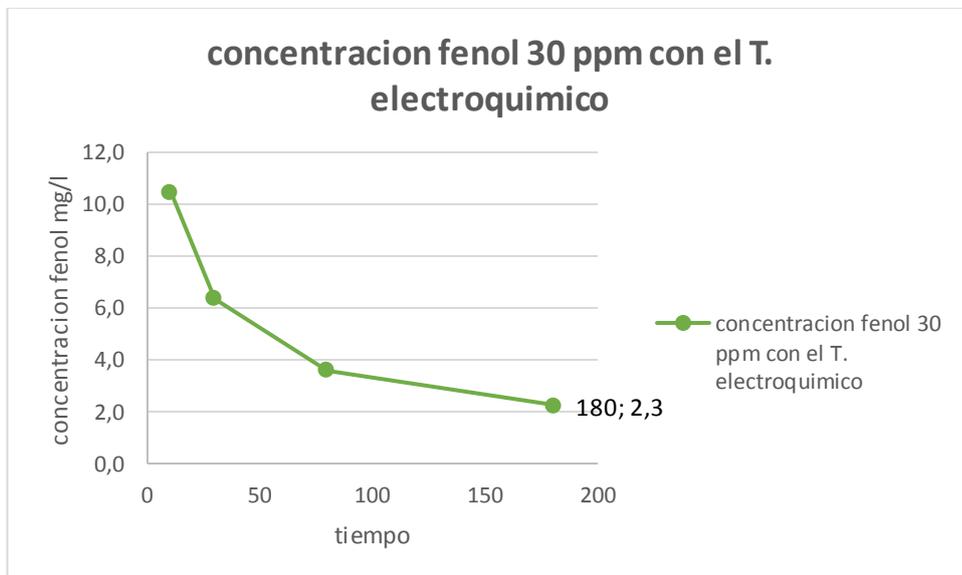


Gráfico 6-3 Resultados de concentración de fenol a 30 ppm

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Se muestra en este tratamiento el grado de eliminación del fenol con una concentración de 30 mg/L, eliminando el contaminante en un 99 %, obteniendo resultados favorables igual que el Fenton, teniendo ventajas más favorables que el otro tratamiento.

3.2 Resultados estadísticos obtenidos en el SPSS

Análisis univariado de varianza

Tabla 18-3 Factores inter – sujetos
Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
Tratamientos	1,0	Fenton	12
	2,0	Electroquímica	12
Tiempo	1,0	10 min	6
	2,0	30 min	6
	3,0	80 min	6
	4,0	180 min	6

Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Tabla 19-3 Pruebas de efectos inter- sujetos

Variable dependiente: DEGRADACION_DE_FENOLES

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	205,181 ^a	7	29,312	599,980	,000
Interceptación	346,180	1	346,180	7085,989	,000
Tratamientos	85,315	1	85,315	1746,322	,000
Tiempo	73,804	3	24,601	503,564	,000
Tratamientos * Tiempo	46,062	3	15,354	314,282	,000
Error	,782	16	,049		
Total	552,143	24			
Total corregido	205,962	23			

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,995)

H_0 = No existe diferencia en los niveles de degradación de fenoles entre los diferentes tratamientos.

H_1 = Existe diferencia entre los niveles de degradación entre los diferentes tratamientos.

Decisión los datos estadísticos obtenidos por el **SPSS**, tenemos como nivel de significancia los siguientes valores $p=0.00$; diciendo que $p < 0.05$ se desecha la hipótesis nula por lo tanto definimos que existe diferencia entre los niveles de degradación entre los diferentes tratamientos, detallamos que los tratamientos aplicados el más efectivo y eficiente es el tratamiento foto-Electroquímico.

Pruebas post hoc

Tiempo

Tabla 20-3 Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DEGRADACION_DE_FENOLES

	(I) Tiempo	(J) Tiempo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Scheffe	10 min	30 min	2,2417*	,12761	,000	1,8439	2,6395
		80 min	3,8083*	,12761	,000	3,4105	4,2061
		180 min	4,5917*	,12761	,000	4,1939	4,9895
	30 min	10 min	-2,2417*	,12761	,000	-2,6395	-1,8439
		80 min	1,5667*	,12761	,000	1,1689	1,9645
		180 min	2,3500*	,12761	,000	1,9522	2,7478
	80 min	10 min	-3,8083*	,12761	,000	-4,2061	-3,4105
		30 min	-1,5667*	,12761	,000	-1,9645	-1,1689
		180 min	,7833*	,12761	,000	,3855	1,1811
	180 min	10 min	-4,5917*	,12761	,000	-4,9895	-4,1939
		30 min	-2,3500*	,12761	,000	-2,7478	-1,9522
		80 min	-,7833*	,12761	,000	-1,1811	-,3855

Elaborado por: (Villamarin Katherine,2017)

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,049.

La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

H_0 = No existe diferencia en los niveles de degradación de fenoles entre los diferentes tiempos

H_1 = Existe diferencia en los niveles de degradación entre los diferentes tiempos.

Discusión: Los datos estadísticos obtenidos por el **SPSS**, tenemos como nivel de significancia los siguientes valores $p=0.00$; diciendo que $p < 0.05$ se desecha la hipótesis nula por lo tanto definimos que existe diferencia entre los niveles de degradación en los diferentes lapsos de tiempo. A los 10 minutos podemos ver que tenemos una degradación del 95% hasta los 180 minutos se obtuvieron 99% en cada tratamiento, verificando que el tratamiento electroquímico es el más eficiente ya que a los 10 minutos tuvimos una degradación del 99%.

Tabla 21-3 Degradación de fenoles

	Tiempo	N	Subconjunto			
			1	2	3	4
Tukey B ^{a,b}	180 min	6	1,8667			
	80 min	6		2,6500		
	30 min	6			4,2167	
	10 min	6				6,4583
Scheffe ^{a,b}	180 min	6	1,8667			
	80 min	6		2,6500		
	30 min	6			4,2167	
	10 min	6				6,4583
	Sig.			1,000	1,000	1,000

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,049.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

b. Alfa = 0,05.

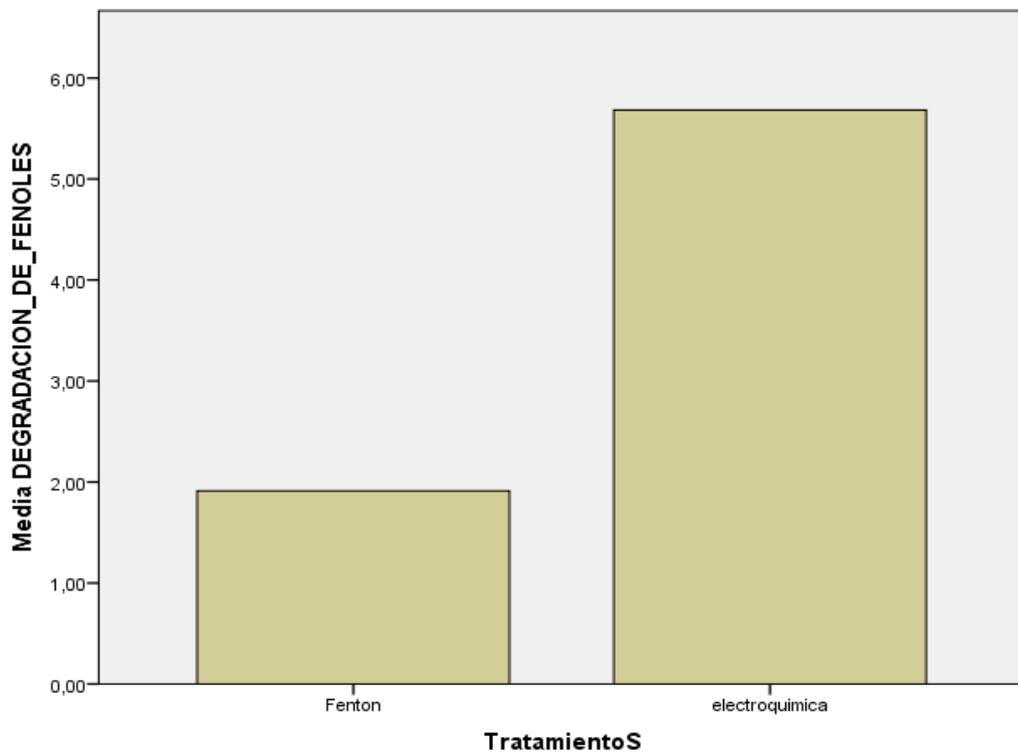


Gráfico 7-3 Media aritmética de la degradación de fenoles

Elaborado por: (Villamarin Alexander, 2017)

Decisión: Como se puede observar en la gráfica en donde se contrastan los dos tratamientos para su eficacia en la degradación de fenoles, el tratamiento electroquímico alcanza una media aritmética mucho mayor en relación a la del Fenton por lo cual, el tratamiento electroquímico demuestra ser más eficaz en el momento de la degradación de los fenoles presentes en el agua.

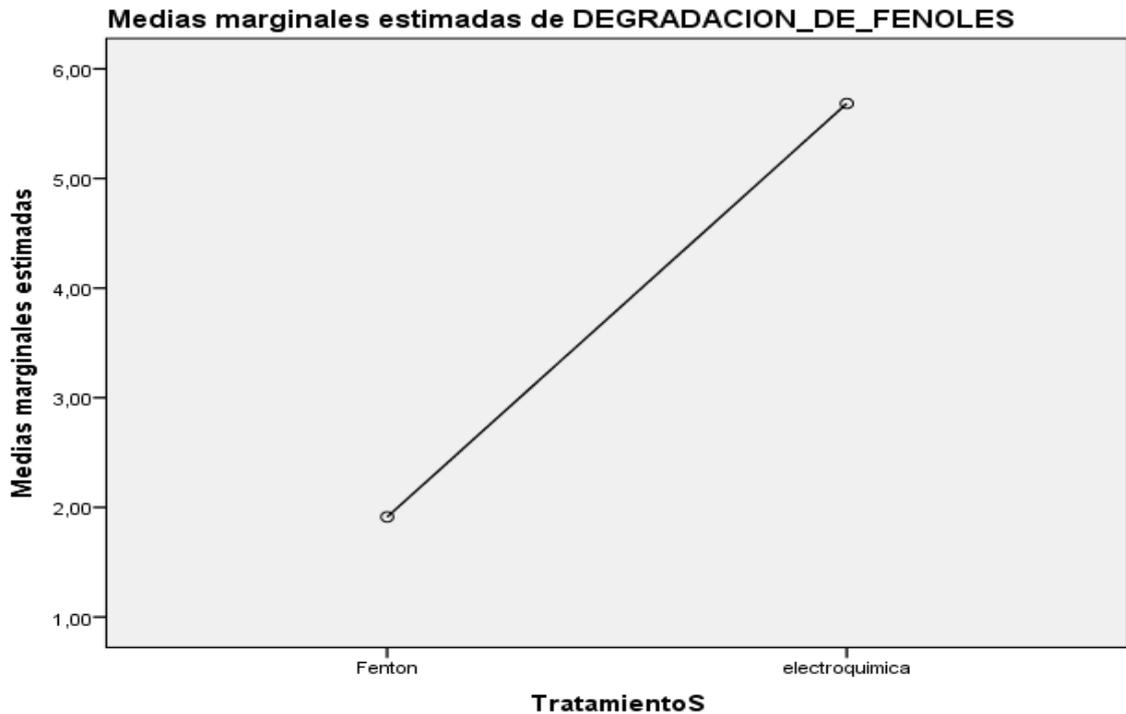


Gráfico 8-3 Medias marginales estimadas de degradación de fenoles
Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Decisión: La grafica nos indica que las medias marginales estimadas muestran una distribución más amplia en la degradación de fenoles en los diferentes tratamientos, por lo cual el tratamiento con electroquímico degrada el fenol con mayor eficiencia.

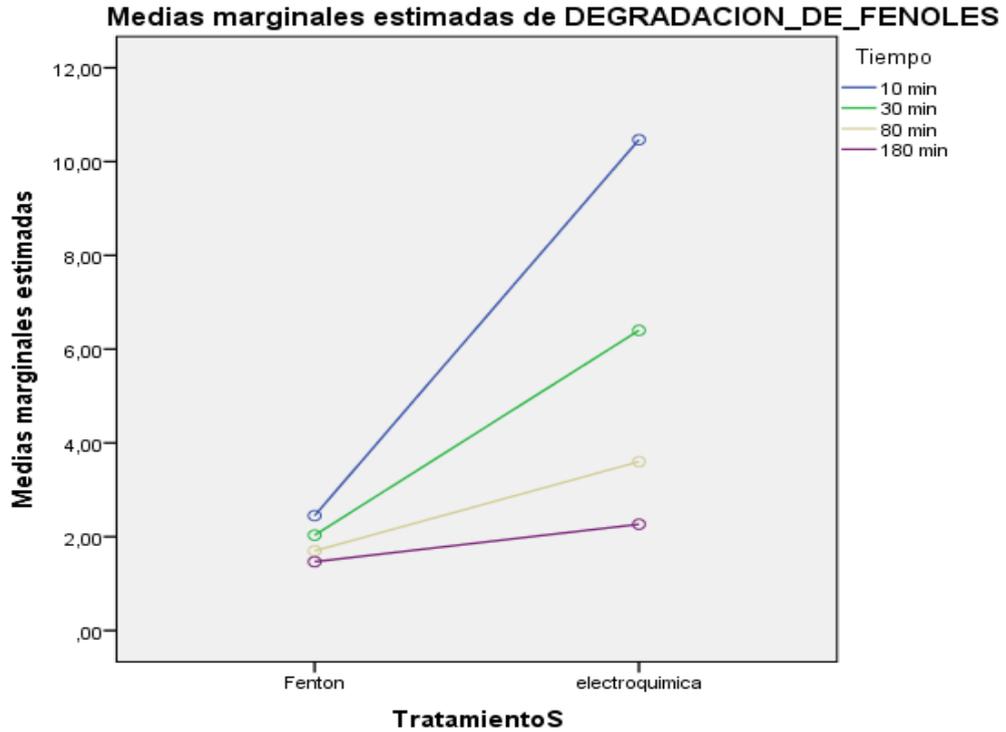


Gráfico 9-3 Resultado de las medias marginales estimadas de degradación de fenoles
Elaborado por: (Villamarin Katherine, 2017)

Decisión: En la gráfica se puede observar que conforme pasa el tiempo la media marginal es superior por lo tanto las lecturas muestran una vez más que el tratamiento electroquímico es más eficiente a los 10 minutos.

CONCLUSIONES.

Los resulta experimentales demostraron que la concentración de fenol se degradó, por la presencia de los radicales hidroxilos, procedentes de la interacción del agua a tratar más el catalizador adherido electroquímicamente en las placas de acero, Los resultados obtenidos del tratamiento electroquímico en el reactor con TiO_2 (óxido de titanio IV) es eficiente con un porcentaje de 99%, en un medio ácidos de 3,14 de pH.

Se concluyó que el tiempo y la intensidad de degradación de la luz UV -Visible en el reactor, tomando cada 10 minutos, cada 20 minutos, cada 30 minutos muestras por tres horas , el más óptimo fue a los 180 minutos teniendo un 99 % de degradación del compuesto , se mantuvo estable la eliminación .

En el tratamiento FENTON para la degradación de los fenoles presentes de las aguas residuales en los tiempos medidos, se obtuvo un porcentaje de 98% en los 10 minutos, siendo eficiente, pero tiene desventajas en su tratamiento, el empleo de aireadores o el uso de peróxido de hidrogeno grandes cantidades, Las trazas de hierro presentes después del tratamiento en lo cual se debería dar otro tratamiento final para evitar efectos en la salud de los sectores aledaños, alto costo en reactivos.

RECOMENDACIONES.

- Investigar los efectos que puede producir el fenol en las personas, con la mala manipulación de dichos compuestos presentes en el agua residual de la refinería.
- Realizar el experimento en prueba de banco, para poder escalar el tratamiento para realizarlo a grandes caudales.
- El uso de este catalizador en el agua residual genera turbidez, se recomienda investigar un método para sedimentar los sólidos suspendidos presentes en el agua.

BIBLIOGRAFÍA.

1. **AHMED, Saber**, et al. Heterogeneous photocatalytic degradation of phenols in wastewater: a review on current status and developments. *Desalination*, 2010, vol. 261, no 1, p. 3-18.
2. **ARROYAVE ROJAS, Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe**. Comparación de tecnologías de oxidación (TAO's) para la degradación del pesticida Mertect. 2016.
3. **CHONG, Meng Nan**, et al. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water research*, 2010, vol. 44, no 10, p. 2997-3027.
4. **DELGADO, Adán; CRISTINA, María**. Fotocatalizadores nanoestructurados de TiO₂ y Fe TiO₂ para la degradación de compuestos aromáticos en medio acuoso empleando luz solar. 2008.
5. **ESPLUGAS, Santiago**, et al. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water research*, 2002, vol. 36, no 4, p. 1034-1042.
6. **GAZPIO, Carmen**, et al. Sorption of pindolol and related compounds by a β -cyclodextrin polymer: Isosteric heat of sorption. *Carbohydrate Polymers*, 2008, vol. 71, no 1, p. 140-146.
7. **GUTIERREZ, Arilmi GORRITI**, et al. Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 2009, vol. 8, no 6, p. 509-518.
8. **LI, Jian-Mei**, et al. Adsorption of phenol, p-chlorophenol and p-nitrophenol onto functional chitosan. *Bioresource Technology*, 2009, vol. 100, no 3, p. 1168-1173.
9. **LÓPEZ-OJEDA, Gonzalo Cuauhtémoc**, et al. Oxidación fotoelectrocatalítica de fenol y de 4-clorofenol con un soporte de titanio impregnado con TiO₂. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 2011, vol. 27, no 1, p. 75-84.
10. **MAMAIS, Daniel; JENKINS, David; PRRR, Paul**. A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater. *Water research*, 1993, vol. 27, no 1, p. 195-197.

11. **MEDINA-VALTIERRA, J.**, et al. Encapsulamiento de anatasa comercial en películas delgadas de TiO₂ depositadas sobre micro-rodillos de vidrio para la fotodegradación del fenol. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 2005, vol. 4, no 2, p. 191-200.
12. **ORTIZ MUÑOZ, Gilberto**. Industria petroquímica: Situación actual y perspectivas. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 1996, vol. 27, no 104.
13. **ROJAS, Joan Amir Arroyave; GIRALDO, Luis Fernando Garcés; CASTELLANOS, Andrés Felipe Cruz**. Comparación de tecnologías de oxidación (TAO's) para la degradación del pesticida Mertect. *NOVA*, 2011, vol. 9, no 15.
14. **ROMO, Ana**, et al. Extraction of phenols from aqueous solutions by β -cyclodextrin polymers. Comparison of sorptive capacities with other sorbents. *Reactive and Functional Polymers*, 2008, vol. 68, no 1, p. 406-413.
15. **ROMO, Ana**, et al. Extraction of phenols from aqueous solutions by β -cyclodextrin polymers. Comparison of sorptive capacities with other sorbents. *Reactive and Functional Polymers*, 2008, vol. 68, no 1, p. 406-413.
16. **ROSAS, JE Pedraza; PEÑA, Próspero Acevedo; AVELLA, Julio Andrés Pedraza**. Utilización de electrodos de pasta de carbono para la evaluación fotoelectroquímica de materiales semiconductores: tio₂ en soluciones cianuradas. *Scientia et technica*, 2007, vol. 4, no 36, p. 701-706.
17. **RUBIANO, Claudia Marcela**, et al. Estudio sobre las posibilidades de aplicación de la fotocatalisis heterogénea a los procesos de remoción de fenoles en medio acuoso. *Gestión y Ambiente*, 2005, vol. 8, no 1, p. 105-121.
18. **SÁNCHEZ-SALAZAR, María Teresa; MARTÍNEZ-LAGUNA, Norma; MARTÍNEZ-GALICIA, Maribel**. Industria petroquímica y cambios socioeconómicos regionales en la costa del Golfo de México: El caso del sureste de Veracruz. *Investigaciones geográficas*, 1999, no 40, p. 127-147.
19. **SPUHLER, Dorothee; RENGIFO-HERRERA, Julian Andres; PULGARIN, Cesar**. The effect of Fe²⁺, Fe³⁺, H₂O₂ and the photo-Fenton reagent at near neutral pH on the solar disinfection (SODIS) at low temperatures of water containing Escherichia coli K12. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2010, vol. 96, no 1, p. 126-141.

20. **TUESTA, Erika G.; GUTARRA, Abel.** Aplicaciones electrocrómicas y fotocatalíticas del dióxido de titanio. *REVCUNI*, 2004, vol. 8, no 2, p. 32.
21. **VAN GERVEN, Tom,** et al. A review of intensification of photocatalytic processes. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2007, vol. 46, no 9, p. 781-789.
22. **VIDAL, Alfonso,** et al. Oxidación solar fotocatalítica: aplicación al tratamiento de efluentes cianurados. *Ingeniería química*, 2001, no 375, p. 161-165.
23. **WANG, Guanghui,** et al. Enhanced TiO₂ photocatalytic degradation of bisphenol A by β -cyclodextrin in suspended solutions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2006, vol. 179, no 1, p. 49-56.

ANEXOS

Anexo A: Ubicación de la refinería Shushufindi.



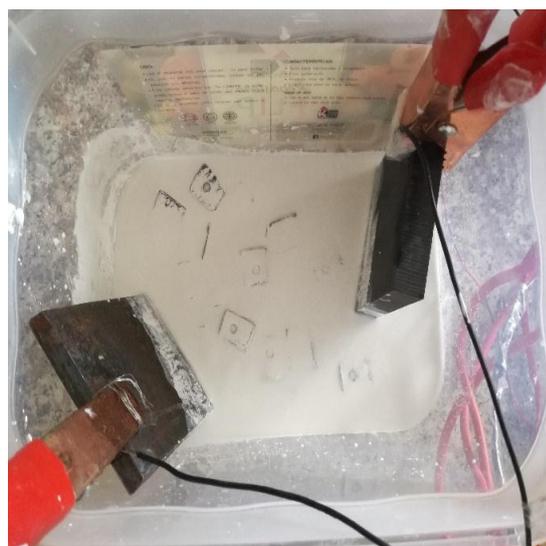
Anexo B: Reactivos a utilizarse para la parte experimental



Anexo C: Elementos del Reactor



Anexo D: Tratamiento de las muestras



Anexo E: Baño electroquímico



Anexo F: Lectura de resultado

