



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DEGRADACION DEL FENOL PRESENTE EN LAS DESCARGAS DE AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES DE LA REFINERIA DE SHUSHUFINDI MEDIANTE
FOTO OXIDACION CATALÍTICA HOMOGÉNEA Y HETEROGÉNEA PARA
DESCONTAMINACION DE SUS DESCARGAS”**

Trabajo de Titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: DAVID GONZALO COLCHA PAULLAN

TUTOR: Doc. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCES

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación: “DEGRADACION DEL FENOL PRESENTE EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE LA REFINERIA DE SHUSHUFINDI MEDIANTE FOTO OXIDACION CATALÍTICA HOMOGÉNEA Y HETEROGÉNEA PARA DESCONTAMINACION DE SUS DESCARGAS”, de responsabilidad del egresado Sr. David Gonzalo Colcha Paullán. Ha sido prolijamente revisado por lo Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Doc. Fausto Yaulema G.
**DIRECTOR DE TRABAJO
DE TITULACION**

.....

.....

Dr. Robert Cazar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, David Gonzalo Colcha Paullan, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría 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 autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Riobamba 04 de Febrero del 2016

David Gonzalo Colcha Paullan

060434922-5

Yo, David Gonzalo Colcha Paullán soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DAVID GONZALO COLCHA PAULLAN

DEDICATORIA

La Grandeza es un largo camino que inicia con un sueño y se transforma en realidad, esta grandeza no se compra, hay que saberla perseguir y conquistarla. La historia está llena de grandes hombres que se atrevieron a soñar y se convirtieron en leyendas, y las leyendas viven y perduran en la eternidad. Esta tesis la dedico a todas aquellas personas que me ayudaron a lograr esa grandeza. A Dios por toda su grandeza, a mi hijo por ser la razón de mi vida a mis padres por enseñarme el valor de la vida a mis hermanos por su inagotable ayuda y a mi esposa por ser mi eterna y confiable compañía. A mis amigos por su sinceridad y confianza ya mis maestros por ser la guía en la realización de esta investigación.

DAVID

AGRADECIMIENTO

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

Al Dr. Luis Villacreses jefe de Seguridad Salud y Ambiente de la empresa EP PETROECUADOR por habernos brindado la confianza para la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Fausto Yaulema por su valiosa colaboración y asesoramiento en la dirección de la presente investigación.

Al Dr. Robert Cazar por la guía y el aporte como colaborador en la ejecución de nuestro trabajo.

A mi familia, y a mis padres por darme la fuerza y todo su apoyo para culminar la carrera, A mi hijo Alexander por ser mi inspiración y hacerme ver que en la vida no hay obstáculos que no se los pueda vencer y a toda aquellas personas que me brindaron su comprensión, amistad y confianza.

A nuestros espíritus de dedicación, paciencia, capacidad de finalizar y agotar recursos hasta lograr nuestras metas.

DAVID GONZALO COLCHA PAULLÁN

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDOS DE ABREVIATURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xv
RESUMEN	xvi
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	4
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1 Industria Petroquímica	4
1.1.1 <i>Potenciales Impactos Ambientales de la Petroquímica</i>	4
1.2 Contaminación del Agua	5
1.2.1 <i>Contaminación de Aguas con Tóxicos Persistentes</i>	6
1.3 Fenol	6
1.3.1 <i>Información Ecológica</i>	8
1.3.2 <i>Exposición al Fenol</i>	8
1.3.3 <i>Efectos para la Salud</i>	9
1.4 Métodos de Tratamiento de Efluentes con Compuestos Orgánicos	9
1.5 Fotocatálisis	11
1.5.1 <i>Fotocatálisis Heterogénea</i>	11
1.5.2 <i>Fotocatálisis con Dióxido de Titanio / Luz -UV</i>	12
1.6 Dióxido de Titanio (TiO₂)	14
1.7 Nano partículas foto catalíticas TiO₂	15
1.8 Lámparas UV	16
1.9 Radiación Ultravioleta (UV)	18
1.10 Parámetros que influyen en la Fotocatálisis Heterogénea	20
1.11 Fotocatálisis Homogénea	21

1.11.1	<i>Reacción Fenton</i>	21
1.12	Mecanismos de Fotocatálisis Homogénea	22
1.13	Peróxido de Hidrogeno (H₂O₂)	23
1.14	Parámetros que Influyen en el Proceso Foto - Fenton	24
1.14.1	<i>Efecto del pH</i>	24
1.14.2	<i>Influencia de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno</i>	24
1.15	Efecto de la cantidad de sal de Hierro	24
1.16	Concentraciones relativas de reactivos y contaminante	25
1.17	LUZ	25
CAPITULO II.....		27
2	MARCO METODOLÓGICO	27
2.1	Unidad de estudio	27
2.1.1	<i>Localización</i>	27
2.1.2	<i>Población de Estudio</i>	27
2.2	Tipo de investigación	27
2.2.1	Tipos de Variables.....	28
2.2.1.1	<i>Variable Independiente</i>	28
2.2.1.2	<i>Variable Dependiente</i>	28
2.2.1.3	<i>Variable Interviniente</i>	28
2.3	Métodos y Técnicas	28
2.3.1	Foto catálisis Heterogénea	28
2.3.1.1	Procedimiento Fotocatálisis Heterogénea	29
2.3.1.2	<i>Elaboración del Reactor Fotocatalítico</i>	29
2.3.1.3	<i>Impregnación del Dióxido de Titanio</i>	30
2.3.1.4	<i>Contaminación de Agua con Fenol</i>	30
2.3.1.5	<i>Ajuste de pH para el tratamiento de Fotocatálisis Heterogénea</i>	31
2.3.1.6	<i>Elaboración de Filtro de Carbón Activado</i>	31
2.3.1.7	<i>Sistema de Oxigenación</i>	33
2.3.1.8	<i>Análisis de Agua Tratada</i>	34
2.3.1.9	<i>Toma de Muestras</i>	34
2.3.2	Fotocatálisis homogénea	35
2.3.2.1	<i>Determinación de la Normalidad del Peróxido de Hidrogeno</i>	35
2.3.2.2	<i>Diseño Experimental en laboratorio</i>	35

2.3.2.3	<i>Metodología</i>	36
2.3.2.4	<i>Análisis de la Concentración de Hierro (ISO 6332)</i>	36
2.3.2.5	<i>Equipos de Análisis Instrumental</i>	38
CAPITULO III	.....	41
3	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	41
3.1	Foto-catálisis heterogénea con TiO ₂ / UV en agua potable para determinar la efectividad del foto reactor.	42
3.2	Tratamiento con fotocátalisis heterogénea a pH 3 para determinar la efectividad del sistema degradador	43
3.3	Tratamiento foto catalítico con el agua de la descarga de la refinería de Shushufindi	44
3.4	Tratamiento heterogéneo al agua de la refinería de Shushufindi a pH 3.....	46
3.5	Tratamiento Foto-Fenton al agua de la refinería de Shushufindi.....	47
3.6	Tratamiento Foto-Fenton del agua de la refinería de Shushufindi a pH neutro.....	49
3.7	Análisis estadístico de las pruebas de degradación del fenol en la aguas de la refinería.	50
3.8	Elaboración de las curvas de calibración	52
3.9	Curva de calibración del fenol con altas concentraciones	53
CONCLUSIONES	.....	55
RECOMENDACIONES	.....	56
IBLIOGRAFÍA	.....	57
ANEXO A. Reactivos para el tratamiento fenton	.....	61
ANEXO B. Equipo de uv- visible para la obtención de curvas de calibración	.....	61
ANEXO C. Muestras de agua con las concentraciones respectivas de fenoles	.....	62
ANEXO D. Colocación del óxido de titanio dentro del foto reactor catalítico.....	62	
ANEXO E: Foto reactor con la lámpara de uv-visible preparada para el ingreso del flujo de muestra.	63	
ANEXO F. Calibración del ph metro con una solución buffer para la medición de las muestras.....	64	
ANEXO G. Medición de ph de cada una de las muestras codificadas respectivamente.	64	
ANEXO H. Equipo de flujo armado completamente para el tratamiento de fotocátalisis.	64	
ANEXO I. Recipiente en donde se deposita el agua después de ser tratada.....	65	
ANEXO J. Elaboración de biofiltro con carbón activado	65	
ANEXO K: Puntos de descarga refinería de Shushufindi	66	
ANEXO L: Toma de muestras en la descarga refinería de Shushufindi	67	
ANEXO M. Degradación del fenol del agua de la refinería contaminada con fenol.....	68	

ANEXO N. Sistema completo de degradación.....	68
ANEXO O. Diferencia entre el agua contaminada y el agua tratada	69
ANEXO P.- Tratamiento foto –fento a ph 7.24.....	69
ANEXO Q. Tratamiento foto –fenton a ph 3	70
ANEXO R. Resultados de laboratorio.....	71
ANEXO S. Resultados de laboratorio del agua de la refinería	73
ANEXO T. Resultados de laboratorio después del tratamiento	74
ANEXO U. Resultados de laboratorio después del tratamiento fenton.....	75

ÍNDICE DE CONTENIDOS DE ABREVIATURAS

(POAs)	Procesos de Oxidación Avanzada
Kg	Kilogramo
g	Gramo
mg	Miligramos
°C	Grados Centígrados
M	Molar
DQO	Demanda Química de Oxígeno
W	Watt
nm	Manómetro
X	Fracción Molar
h	Horas
%	Porcentaje
s	Segundo
Mol	Moles
L	Litro
ml	Mililitro
min.	Minutos
ppm	Partes por Millón
CF	Compuestos Fenólicos
UV	Ultra Violeta
C	Concentración
v	Voltaje
OH•	Radical Hidroxilo
pH	Potencial Hidrogeno
Co	Concentración Inicial
Cf	Concentración Final
ABS	Absorbancia

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Estructura del fenol.....	6
Gráfico 2-1: Diagrama de las distintas tecnologías existentes para el tratamiento de agua.....	10
Gráfico 3-1: Mecanismos de formación del par electrón-hueco en la superficie del.....	13
Gráfico 4-1: Celdas unitarias de (A) rutilo y (B) anatasa. El Titanio ocupa.....	15
Gráfico 5-1: Proceso de mineralización oxidativa	16
Gráfico 6-1: Esquema lámpara artificial	17
Gráfico 7-1: Espectro electromagnético.....	19
Gráfico 8-1: Intensidad de la radiación.....	21
Gráfico 1-2: Esquema reactor fotocatalítico	30
Gráfico 2-2: Carbón activado.....	32
Gráfico 3-2: Diagrama carbón activado en el tratamiento	33
Gráfico 4-2: Diagrama reactor fotocatalítico para la degradación de fenol	34
Gráfico 5-2: Diagrama de oxidación fenton.....	38
Gráfico 1-3: Mecanismo de degradación del fenton con luz UV	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Propiedades físicas y químicas del fenol.....	7
Tabla 1-2: Valores de las fuentes de conocimiento.....	35
Tabla 2-2: Las principales características de longitud de onda 190 a 700 nm:.....	39
Tabla 1-3: Valores obtenidos con TiO ₂ /UV a pH 7 con agua potable	42
Tabla 2-3: Valores del tratamiento a pH ácido 3	43
Tabla 3-3: Resultados de tratamiento fotocatalítico a pH neutro del agua de la refinería	45
Tabla 4-3: Valores de la degradación del fenol a pH ácido 3 del agua de la refinería de	46
Tabla 5-3: Resultados del tratamiento fenton a pH ácido del agua de la refinería de.....	47
Tabla 6-3: Degradación del fenol del agua de refinería a pH 7	49
Tabla 7-3: análisis estadístico entre tratamientos fotocatalíticos a pH 7,24	50
Tabla 8-3: Análisis de varianza de un factor.....	50
Tabla 9-3: Análisis estadístico entre tratamientos fotocatalítico a pH 3.....	51
Tabla 10-3: Bajas concentraciones para el fenol.....	52
Tabla 11-3: Altas concentraciones	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3: degradación del fenol con fotocatalisis a pH 7.....	43
Figura 2-3: degradación del fenol a pH ácido 3.....	44
Figura 3-3: degradación del fenol del agua de la refinería de Shushufindi.....	45
Figura 4-3: Degradación del fenol del agua de la refinería de Shushufindi a pH 3	46
Figura 5-3: Tratamiento fenton al agua de la refinería de Shushufindi a pH ácido	47
Figura 6-3: Degradación del fenol del agua de la refinería de Shushufindi a pH 7,24	49
Figura 7-3: Curva obtenida con los resultados en concentraciones bajas	53
Figura 8-3: Curva obtenida con altas concentraciones.....	54

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2: Ajuste de pH de la solución a pH ácido	31
Fotografía 2-2: Balanza analítica ADAM	38
Fotografía 3-2: pH metro Hanna Instrument	39
Fotografía 4-2: Espectrofotómetro	40
Fotografía 5-2: Mufla.....	40

RESUMEN

Se degradó fenol presente en las descargas de aguas residuales industriales de la refinería de Shushufindi mediante fotoxidación catalítica homogénea y heterogénea para descontaminación de sus descargas. Se recolectó muestras de agua proveniente de las descargas industriales de la refinería Amazonas 1 del complejo industrial Shushufindi de la empresa EP Petroecuador en la provincia de Sucumbíos, mediante la caracterización de las muestras se determinó que el fenol estaba a una concentración de 0.100 ppm. Para realizar el tratamiento foto catalítico heterogéneo se construyó un fotoreactor utilizando bidón de 20 L, tubo PVC, mangueras, dióxido de titanio tipo anatasa (TiO_2) impregnado en un esterilizador UV como catalizador, y una lámpara de luz UV con una longitud de onda de 240-280 nm por 24 horas de tratamiento, a un pH ácido. Para el tratamiento homogéneo denominado fotofenton se utilizó peróxido de hidrogeno como oxidante y hierro II a un pH ácido tratado mediante exposición a luz solar por 60 minutos, la cantidad de fenol degradada fueron analizadas en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencias Tecnológicas Ambientales ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, dando como resultado que para el tratamiento heterogéneo se degradó 0.046 ppm de fenoles decir 46% y para el tratamiento homogéneo se degradó 0.057 ppm es decir 57% de fenol presente, ambos tratamientos se ajustó a pH 3 siendo el más óptimo para la degradación del contaminante. Se concluye que ambos tratamientos son eficaces para la degradación de fenol presente en las aguas industriales. Se recomienda la utilización de estos tratamientos debido al bajo costo y no requiere de mucho tiempo en comparación a otros tratamientos para degradar este tipo de contaminante.

Palabras clave

<DEAGRADACION DEL FENOL>, <FOTOCATÁLISIS>, <TRATAMIENTO HOMOGENEO>, <TRATAMIENTO HETEROGENEO>, <AGUAS RESIDUALES>, <REFINERIA SHUSHUFINDI>, <EP PETROECUADOR>, <FOTO-FENTON>, <REMEDIACIÓN>.

SUMMARY

This phenol was degraded in the discharge of industrial wastewater Shushufindi refinery by homogeneous and heterogeneous catalytic photooxidation for decontamination of its discharges. Water samples were collected from industrial discharges of Amazonas Shushufindi refinery industrial complex 1 of EP Petroecuador in the province of Sucumbíos, through the characterization of the samples was determined that phenol was at a concentration of 0.100 ppm. For the heterogeneous photocatalytic treatment it was used one photoreactor drum 20L. PVC tubing, hoses, anatase (TiO₂) titanium impregnated into a UV sterilizer dioxide as a catalyst and a UV lamp with a wavelength of built 240-280 nm for 24 hours of treatment at an acid Ph. . For homogeneous treatment called photofenton hydrogen peroxide was used as the oxidant and iron II at an acid ph. treated by exposure to sunlight for 60 minutes, the amount of phenol degraded was analyzed at the center for Technical Services and Environmental Technology Transfer located on the Polytechnic School of Chimborazo, with the result that for the heterogeneous treatment was downgraded 0.046 ppm of phenol that is 46% and for homogeneous treatment was downgraded 0.057 ppm which is 57% of phenol, both treatments were adjusted to ph. 3 being more optimal for pollutant degradation. We conclude that both treatments are effective for the degradation of phenol present in industrial waters. It is recommended to use these treatments due to low cost, and the less time consuming compared to other treatments to degrade this type of pollutant

KEY WORDS

<PHENOL, DEGRADATION, PHOTOCATALYSIS, HOMOGENEOUS TREATMENT, HETEROGENEOUS TREATMENT, WASTEWATER, OIL REFINERY SHUSHUFINDI, EP PETROECUADOR, PHOTOFENTON, REMEDIAL

INTRODUCCION

En la actualidad surge la necesidad de resolver aquellos problemas referente a la eliminación de la carga contaminante presente en las aguas residuales industriales ya que el ambiente ha perdido su capacidad auto depuradora .Y los contaminantes van a parar a cuerpos de agua sin ningún control ni tratamiento previo, causando que los otros medios como el suelo aire, y especialmente agua presenten altos niveles de contaminación los cuales afectan directamente al hombre, flora y fauna. (Droteo, Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México, 2012)

Las aguas residuales que se descargan como producto de la actividad industrial contienen grandes cantidades de metales pesados, compuestos orgánicos aromáticos fenoles, cresoles, etc. Que son altamente tóxicos y no son degradados por los procesos biológicos que generalmente se utilizan para el tratamiento de aguas residuales.

Muchos de estos productos orgánicos aromáticos son solubles en el agua generando aguas residuales de alto riesgo para la salud humana. Toda esta problemática hace que el hombre busque soluciones más específicas como los procesos de oxidación avanzada con los que se ha logrado altos rendimientos de degradación y eliminación de los contaminantes y así poder cumplir las normas ecológicas para su disposición final.

Los procesos de oxidación avanzada (POAs) son definidos en una forma muy general como procesos de Oxidación Química los mismos que utiliza compuestos químicos como el Peróxido de Hidrogeno y radiación UV que son capaces de generar radicales hidroxilo (OH•) que tiene un elevado poder de oxidación entrando en contacto con los contaminantes y logrando su oxidación. . (Monreal, 2012, págs. 56-59)

Esta investigación se enfoca en la degradación del fenol, ya que es un compuesto altamente toxico y persistente del grupo de los compuestos aromáticos; en ciertos casos por su concentración llega a ser letal es por eso que se usaron técnicas de oxidación avanzada como la Foto-oxidación catalítica Homogénea y Heterogénea ~~u~~ empleando como oxidantes el peróxido de hidrogeno y luz ultravioleta, procesó Fenton, Catalizadores como el dióxido de titanio (TiO₂)

tipo anatasa, los cuales han producido óptimos resultados en degradación de contaminantes químicos con alto grado de persistencia en el medio.

En la actualidad la industria petroquímica juega un rol importantísimo en la economía y desarrollo del país, es por eso que vamos a dar solución al problema de la contaminación de las aguas residuales las mismas que contienen cantidades de fenol , especialmente en aguas de procesos , en unidades de craqueo catalítico fluidizado y en procesos de desulfuración. (Moctesuma, 2011, págs. 89-99)

Justificación

Actualmente la preservación del medio ambiente ha llevado a buscar y aplicar métodos eficientes para eliminar compuestos químicos contaminantes de baja bio degradabilidad y alta toxicidad, que se mantienen activos en los organismos vivos generando una problemática muy difícil de solucionar.

Para solucionar esta problemática la empresa EP PETROECUADOR, planteo este proyecto para el tratamiento de aguas residuales provenientes de las plantas encargadas del procesamiento de crudo.

Este proyecto consiste en degradar al fenol presente en las descargas con procesos de oxidación avanzada (POA) como es la fotooxidación foto-catalítica, logrando la degradación completa o parcial de este tipo de contaminantes obteniendo una mejor depuración de las aguas con la utilización de un catalizador, hoy por hoy, este tratamiento ha despertado en la comunidad científica, un gran interés. EP PETROECUADOR interesado en desarrollar proyectos de investigación enmarcados en los requerimientos de Cambios de Matriz Productiva del país, ha comprometido el apoyo y financiamiento para el desarrollo de esta investigación ya que cuenta con la tecnología de punta para el desarrollo investigativo.

Actualmente en el ámbito nacional como internacional, las industrias químicas y petroquímicas se encuentran sometidas a controles muy estrictos en sus descargas debido a que son desemboscados en cuerpos de agua usados por las comunidades cercanas afectando directa o indirectamente al medio acuático, flora y fauna de la zona.

La toxicidad de estas descargas se debe a la presencia de hidrocarburos lineales, aromáticos, poli aromáticos, que se sabe inhiben la actividad biológica, son potencialmente tóxicos y carcinógenos.

La viabilidad para la ejecución del proyecto es favorable, ya que existen vías de acceso adecuadas para llegar a las refinerías, se tiene todo el apoyo de la empresa para realizar las diversas actividades dentro del laboratorio, además se cuenta con los catalizadores materiales y reactivos para la degradación de este contaminante.

Objetivos

Para el desarrollo de la presente investigación se formularon los siguientes objetivos:

General

- Degradar al fenol presentes en las descargas de aguas residuales industriales mediante fotoxidación catalítica homogénea y heterogénea.

Específicos

- Determinar la carga contaminante de compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales industriales de la Industria petroquímica de la refinería de Shushufindi (Ecuador).
- Elaborar un foto reactor para la degradación de fenol utilizando catalizadores (TiO_2) y luz UV.
- Aplicar el tratamiento homogéneo (peróxido de hidrogeno y hierro II) reactivo Fenton para la degradación del fenol presente en las descargas industriales

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Industria Petroquímica

La explotación petrolífera se relaciona con todas aquellas actividades relacionadas ya sea extracción, tratamiento, procesamiento y almacenamiento de crudo y sus derivados estos acarrea un sin número de procesos y técnicas que al no ser manejadas de manera adecuada da como resultado serios problemas debido a la gran cantidad de residuos no tratados ya sean estos sólidos, líquidos y gaseosos, estos compuestos son altamente tóxicos provocando daños irremediables e incluso enfermedades mortales. Esta industria está presente en el Ecuador utilizando además de los métodos convencionales procesos químicos tóxicos dejando residuos de difícil degradación por este motivo es sin duda razón de estudio ya que se deben tomar altas medidas de seguridad en el campo laboral, seguridad industrial y ambiente. En estos procesos industriales se procede a la extracción de sustancias químicas se fundamenta en los derivados de petróleo este tipo de procesos se realizan en refinerías la división de este en petróleo y gas natural se conoce como cracking. (Bermúdez, 1985) (Castells, 1990).

1.1.1 Potenciales Impactos Ambientales de la Petroquímica

El principal problema dentro del refinamiento del crudo en el Ecuador es la presencia de contaminantes en sus descargas esta contaminación varía considerablemente según el tipo de proceso que se utilice y el método de control para minimizar la concentración de contaminantes que se esté utilizando, el estado de instalaciones, materiales y equipos, además el grado de conocimiento del personal que realiza las operaciones.

Uno de los factores relevantes es el diseño que también puede determinar una mayor o menor generación de contaminantes. El impacto ambiental producido por las industrias petroleras debe ser estimado para el personal (población interna) así como para la población de influencia directa e indirecta y al ambiente como factor relevante para determinar el grado de contaminación.

(Impactos de la petroquímica, 2010)

Según los impactos principales emitidos a través de estos procesos son los siguientes:

Emisiones al aire:

- Óxidos de azufre
- Hidrocarburos
- Óxidos de nitrógeno
- Partículas
- Monóxido de carbono
- Olor
- Aldehídos
- Amoniac (NH₃)

Aguas contaminadas:

- Hidrocarburos
- Metales pesados
- Fenoles
- Compuestos de azufre
- Cloruro
- Cianuros
- Amoniac (NH₃)

1.2 Contaminación del Agua

Las descargas al recurso agua de una refinería generalmente son de diverso orden, se utiliza grandes cantidades de agua para diferentes procesos tanto como en la refrigeración, perforación, etc. La característica principal de la contaminación en el agua se ve denotada por sustancias orgánicas e inorgánicas. Los contaminantes inorgánicos son propios en una refinería así como son compuestos sulfurosos, nitratos y compuestos clorados. Además una la contaminación de agua presenta metales pesados tales como el Vanadio, Zinc, Plomo, Aluminio, Cromo, Cadmio así algunos de estos contaminantes se incorporan al proceso formando parte de compuestos orgánicos propios del crudo los mismos que luego serán separados al someterlo al proceso de refinación.

Los contaminantes orgánicos son más numerosos y variados, principalmente se debe destacar al grupo de los hidrocarburos puros y al de los hidrocarburos combinados con otras sustancias principales como cloro, azufre y nitrógeno. (Ramalho, 2008, pág. 123).

1.2.1 Contaminación de Aguas con Tóxicos Persistentes

El creciente desarrollo industrial en la actualidad ha provocado un enorme aumento en la dependencia de los recursos hídricos dando como resultado aguas residuales con altas con cargas de contaminantes tóxicos y persistentes esta es una de las principales amenazas para alterar la calidad del agua. El primer desafío consiste en identificar estas sustancias químicas que pueden ser perjudiciales tanto para las aguas dulces superficiales, subterráneas, como aguas marinas y que requieren un control dificultado por la cantidad limitada de información disponible. La contaminación procedente de sustancias químicas tales como metales pesados, disolventes, colorantes, plaguicidas etc. Estas sustancias químicas llegan a alcanzar el medio acuático de diversas formas, pueden ser directamente vertidas como efluentes de una industria o procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) que no cumplen adecuadamente con los tratamientos. (Carrera, 2001)

1.3 Fenol

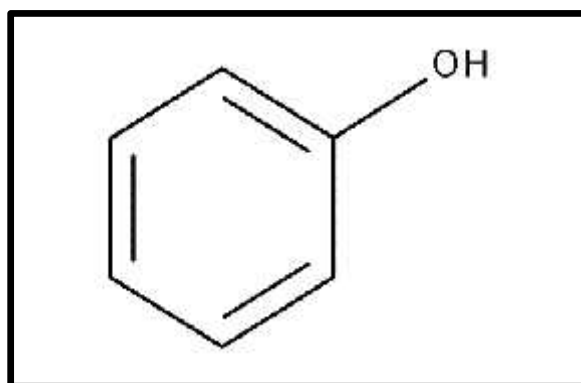


Gráfico 1-1: Estructura del fenol

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/quimica/organica/introduccion.htm>

Los fenoles son compuestos aromáticos cuya característica es que pueden tener uno o muchos grupos hidroxilo unido a un anillo aromático. Es obtenido por síntesis orgánica o destilación fraccionaria del alquitrán del carbón, además es una sustancia clara, cristalina y ciertas veces toma una cierta coloración rosada, polvo blanco, y liquido espeso. (Carrera, 2001)

Presenta un olor dulce agudo y es altamente inflamable. Tiene un campo de aplicación amplio, se lo utiliza en la elaboración de una variedad de productos como son tintes, plásticos, resinas entre otros casos tiene una utilización como desinfectante.

En seres humanos, los efectos de respirar fenol en el aire no se conocen. Gente cuya piel fue expuesta a altos niveles de fenol sufrió daño al hígado, diarrea, oscurecimiento de la orina y anemia hemolítica. En animales, respirar aire con altos niveles de fenol produjo irritación a los pulmones. Las exposiciones repetidas produjeron temblores musculares y pérdida de coordinación. La exposición a altos niveles de fenol por varias semanas causó parálisis y serias lesiones al corazón, hígado, riñones y pulmones, y en ciertos casos, la muerte. (Bermúdez, Fotocatalisis, 1988) (Castells, Tratamiento y valorización de contaminantes, 2005)

Tabla 1-1: Propiedades físicas y químicas del fenol

Propiedad	Valor
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: <http://www.ing.unlp.edu.ar/quimica/organica/introduccion.htm>

Los derivados fenólicos que tienen mayor importancia desde el punto de vista en el control analítico del agua son:

- Fenol

- 2-Monoclorofenol
- 4-Monoclorofenol
- 2,4-Diclorofenol
- 2,6-Diclorofenol
- 2,4,6-Triclorofenol
- Tretraclorofenoles
- Pentaclorofenoles
- Cresoles
- Naftoles

1.3.1 Información Ecológica

El fenol es un producto altamente contaminante del agua este presenta un efecto bactericida y no se debe permitir su incorporación al suelo ni a acuíferos.

Su Eco – toxicidad:

Bacterias (*Photobacterium phosphoreum*) EC50 = 25,6 mg/l (15 minutos);

Clasificación: Extremadamente tóxico.

Crustáceos (*Daphnia Magna*) EC50 = 12 mg/l (24 horas);

Clasificación: El fenol es Extremadamente tóxico.

Peces (*Carassius auratus*) LD50 = 46 mg/l (24 horas);

Clasificación: Extremadamente tóxico.

Medio receptor: Riesgo del fenol para el medio acuático = Alto

Riesgo del fenol para el medio terrestre = Alto

Observaciones: El fenol presenta una elevada toxicidad al entrar en contacto con el medio ambiente. .

1.3.2 Exposición al Fenol

El fenol es una sustancia toxica, corrosiva y nociva que puede ocasionar daños irreversibles al entrar en contacto con el organismo humano debido a sus propiedades tiene su baja volatilidad es inhalado entrando a nuestros pulmones ocasionando una toxicidad sistemática con síntomas como una sensación de quemazón, tos, dolor de cabeza n nauseas, vomito pasando a una pérdida de conocimiento. (Carrera, 2001)

1.3.3 Efectos para la Salud

Para mayor entendimiento se ha tomado en cuenta los efectos causados a la salud de las personas que entran en contacto con el Fenol.

- **Aparato respiratorio**

Al estar en contacto con el fenol una pequeña exposición leve suele ocasionar irritación del tracto respiratorio, una exposición más larga puede ocasionar una inflamación en la garganta tráquea e incluso un edema pulmonar.

- **Sistema nervioso central**

Una intoxicación accidental sistemática puede ocasionar una depresión y la pérdida del conocimiento, coma presentando síntomas iniciales como nauseas, dolor de cabeza y vértigo.

- **Sistema cardiovascular**

Puede ocasionar problemas como síntomas cardiovasculares (taquicardia, hipotensión, graves, incide en el transporte de O₂ a la sangre) y puede producir una hemolisis.

- **Sistema renal**

Ocasiona problemas como fallo renal agudo.

- **Sistema dérmico**

Al entrar en contacto con la dermis el fenol ocasiona graves quemaduras, pero si este persiste sobre nuestra piel penetrara rápidamente ocasionando muerte celular seguida de una gangrena, también se ve afectado más 100 cm², existe la posibilidad de una muerte inminente. (Cerro, 2013)

1.4 Métodos de Tratamiento de Efluentes con Compuestos Orgánicos

Actualmente existen diversos métodos que son utilizados industrialmente para eliminar la carga de contaminantes de vertidos muchos de los cuales utilizan agentes oxidantes para la eliminación .otros necesitan sustancias adsorbentes, otros tratamientos biológicos etc. (Sanchez, 2007)

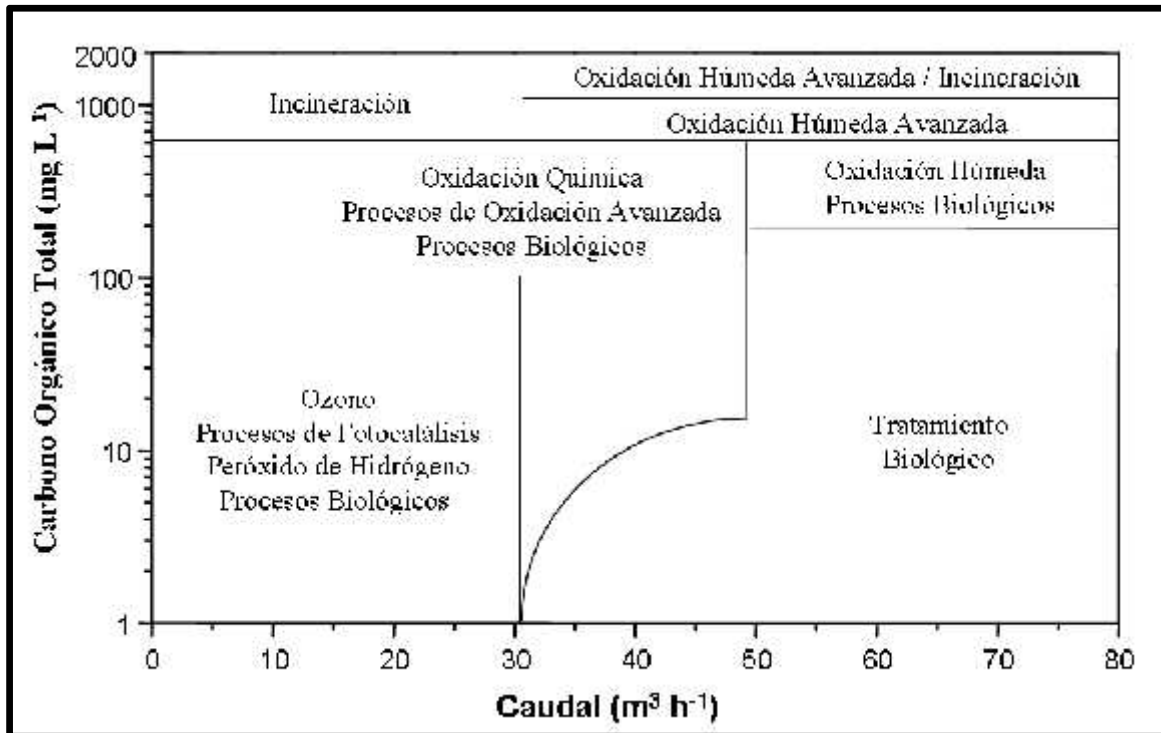


Gráfico 2-1: Diagrama de las distintas tecnologías existentes para el tratamiento de agua
Fuente: MARQUEZ H. tratamientos de aguas residuales, fotooxidación.

En la actualidad para el tratamiento de efluentes se utilizan las siguientes técnicas:

- **Digestión biológica** (digestión aerobia, digestión anaerobia, lodos activados, digestión en lagunas facultativas, digestión de torres de enfriamiento).
- **Métodos oxidativos** (ozono, permanganato de potasio, oxígeno inyectado a altas presiones, cloro temperatura, oxidación con aire o aire húmedo, adsorción de carbón activado, adsorción con resinas porosas).

Estos tratamientos difieren en sus características al momento de decidir cuál tratamiento es el más factible para tratar los diferentes tipos de efluentes, por ejemplo para la degradación biológica puede no resultar factible en el caso en los que existen compuestos persistentes a la degradación biológica. El problema de la eliminación de los contaminantes orgánicos ha llevado

a desarrollar nuevas técnicas como los procesos de oxidación avanzada (POAs) en ocasiones permiten eliminar por completo a los contaminantes por mineralización o por reacciones hasta convertirlos en CO₂ y agua. (Cabello, 2000)

1.5 Fotocatálisis

Los tratamientos foto catalíticos utilizados para la eliminación de compuestos químicos presentes en el agua se basan en proporcionar energía a los contaminantes en forma de radiación la misma que es absorbida por las moléculas de los contaminantes logrando excitarlos durante el tiempo necesario hasta que los mismos puedan alcanzar o experimentar reacciones. La fotocatalisis se produce en presencia de luz ultravioleta para la degradación de compuestos orgánicos, el mismo que va alcanzar un mayor dominio a UV-C (210 – 230 nm) alcanzando a formar radicales libres. (Sanchez, 2007)

La eficiencia de los tratamientos foto catalíticos van a depender de la capacidad que tienen los compuestos orgánicos de absorber la radiación por eso la utilización de lámparas de mercurio de baja presión (254nm ,471KJ/mol) utilizadas en la desinfección de aguas, sin embargo las longitudes de onda más bajas (170-200 nm) ya que son más eficientes para romper los enlaces de los contaminantes. (Santamaria, 2001)

La luz favorece la oxidación iniciadas por la presencia de radicales libres, lo que es necesario la utilización de catalizadores como el dióxido de titanio TiO₂ y otras sustancias oxidantes como el peróxido de hidrogeno, ozono, etc. (Cerro, 2013)

1.5.1 Fotocatálisis Heterogénea

El catalizador que generalmente es un semiconductor de banda ancha, absorbe la energía radiante (solar o UV) y en la interface entre el catalizador excitado y la disolución se produce la degradación del compuesto contaminante.

La excitación del semiconductor se puede originar de dos maneras:

- Por excitación directa del semiconductor el cual va absorber fotones en el proceso.
- Por una excitación inicial de las moléculas adsorbidas en la superficie del catalizador.

Varias sustancias suelen actuar como foto catalizadores, TiO_2 , ZnO , Vds., óxidos de hierro, WO_3 , ZnS , etc.; se excitan absorbiendo parte de la radiación del espectro solar que incide sobre la superficie terrestre ($> 310 \text{ nm}$).

Los semiconductores utilizados presentan bandas de valencia con potencial oxidante (+1 a +3,5 V) y bandas de conducción moderadamente reductoras (+0,5 a -1,5 V). Las foto-catalizador más investigadas hasta el momento son óxidos metálicos semiconductores de banda ancha, particularmente el TiO_2 . (Cerro, 2013)

Es capaz de producir transiciones electrónicas por absorción de luz en el ultravioleta cercano (UV-A) ($< 387 \text{ nm}$).

1.5.2 Fotocatálisis con Dióxido de Titanio / Luz -UV

Para la fotocatalisis heterogénea, existen referencias en la cual se puede realizar aplicaciones con varios catalizadores como Al_2O_3 , ZnO , Fe_2O_3 y TiO_2 . Siendo el más utilizado es el dióxido de titanio TiO_2 , el mismo que presenta una mayor actividad foto catalítica, además de no ser tóxico, es estable en soluciones acuosas y el mismo que no representa un costo elevado, habiéndose evaluado diferentes estructuras del mismo. El mecanismo de reacción que ocurre en este caso es el siguiente: un semiconductor (tipo n) absorbe la energía radiante de longitud de onda inferior a la correspondiente al “bandgap”, produciendo los correspondientes pares electrón-hueco. (Carrera, 2001)

Los mismos que son capaces de catalizar las reacciones de oxidación-reducción en la superficie del conductor, siempre que las especies presentes en disolución posean el potencial adecuado.

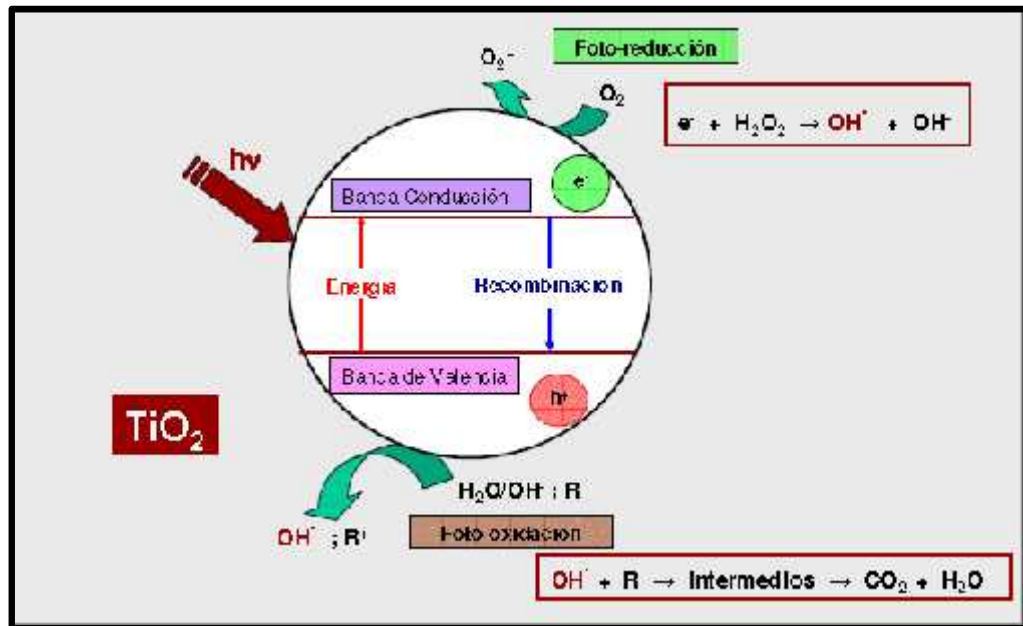


Gráfico 3-1: Mecanismos de formación del par electrón-hueco en la superficie del TiO₂

Fuente: Gómez, L., 2000

La foto-catálisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO₂) es uno de los tratamientos más estudiados. El TiO₂ es un semiconductor que realiza la función de catalizador, aumentando la velocidad de reacción sin alterar el equilibrio.

El dióxido de titanio se activa al entrar en contacto con la luz ultravioleta y produce radicales (•OH), los cuales van a oxidar al contaminante. La degradación del contaminante ocurre cuando el catalizador (TiO₂) es irradiado por la luz UV. Esta fuente de energía excita a un electrón promoviéndolo desde la banda de valencia (baja energía) hacia la banda de conducción (alta energía), produciendo un hueco positivo en la primera banda. (Hidalgo, 2001)

El mecanismo se muestra a continuación:



Este hueco al tomar contacto con el agua o con un ion OH⁻ produce los radicales hidroxilos •OH



Las especies que se forman modifican estructuralmente a la sustancia toxica transformándola en una sustancia intermedia inofensiva y fácil de eliminarla minimizando los efectos al medio ambiente.

1.6 Dióxido de Titanio (TiO₂)

El dióxido de titanio (TiO₂) es un producto que se lo utiliza como pigmento, bloqueador solar, como relleno en comprimidos vitamínicos, etc. El dióxido de titanio estequiométrico es un elemento aislante, por razones termodinámicas su estructura es deficiente de oxígeno O₂ dándole características de un elemento semiconductor. El TiO₂ es uno de los semiconductores con mayor uso dentro de la fotocatalisis ya que se trata de un material que es química y biológicamente inerte, presenta estabilidad a corrosión fotoquímica y química, no es toxico y es abundante, presenta un gap de energía siendo 3.2 eV el cual puede ser excitado con luz UV con una $\lambda < 387$ nm. Como en la mayoría de óxidos de metales de transición su estructura se aproxima a la que predice el campo cristalino lo que origina que sus bandas sean originadas por orbitales moleculares t₂ y e_g que van a estar asociados con el grupo de simetría O_h octaédrica. Se lo encuentra en tres formas cristalinas: anatasa, rutilo y broquita, siendo la anatasa y el rutilo la más efectiva en lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales. Ambos son tetragonales y contienen seis y doce átomos respectivamente por celdas unitarias. (Campos, 2014)

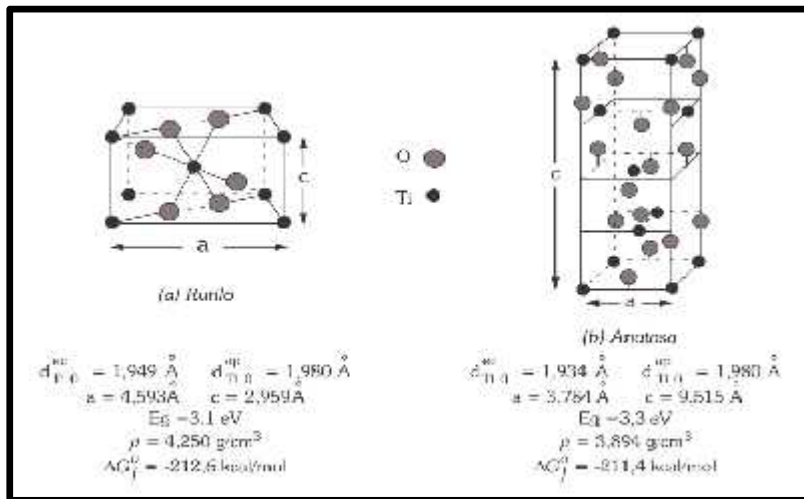


Gráfico 4-1: Celdas unitarias de (A) rutilo y (B) anatasa. El Titanio ocupa una posición central del octaedro TiO_2

Fuente: GIL, E., 2005.

El TiO_2 tipo anatasa posee una mayor área superficial y también una elevada densidad superficial de sitios activos (adsorción y catálisis). La anatasa presenta un gap de 3.2 eV y 3.0 eV para el rutilo pero los procesos oxidativos tienen mucha similitud.

1.7 Nano partículas foto catalíticas TiO_2

La fotocatalisis es la propiedad que poseen ciertos materiales de promover reacciones químicas en presencia de luz ultravioleta. El efecto foto catalítico del dióxido de titanio TiO_2 se puso en evidencia desde el año de 1972 cuando Honda y Fujishima descubrieron que, expuesto al sol, el dióxido de titanio podía producir la disociación foto catalítica del agua. Este principio se basa en la absorción de la pequeña fracción de radiación ultravioleta contenida en el espectro electromagnético solar (4%), produciendo una reacción de oxidación.

Cuando se irradian a las nanas partículas de dióxido de titanio TiO_2 (40 nm) con fotones de energía igual o mayor a su ancho de banda, es posible mover electrones desde la banda de valencia hasta la de conducción generándose pares electrón-hueco en el óxido, los cuales pueden migrar hacia la superficie. (Acero, 2009)

Los fotoelectrones pueden reducir a los átomos de Ti^{IV} a Ti^{III} , quienes a su vez se oxidan, reduciendo al oxígeno molecular que se encuentra en el medio. Esta especie reducida origina radicales libres que degradan finalmente al compuesto orgánico contaminante.

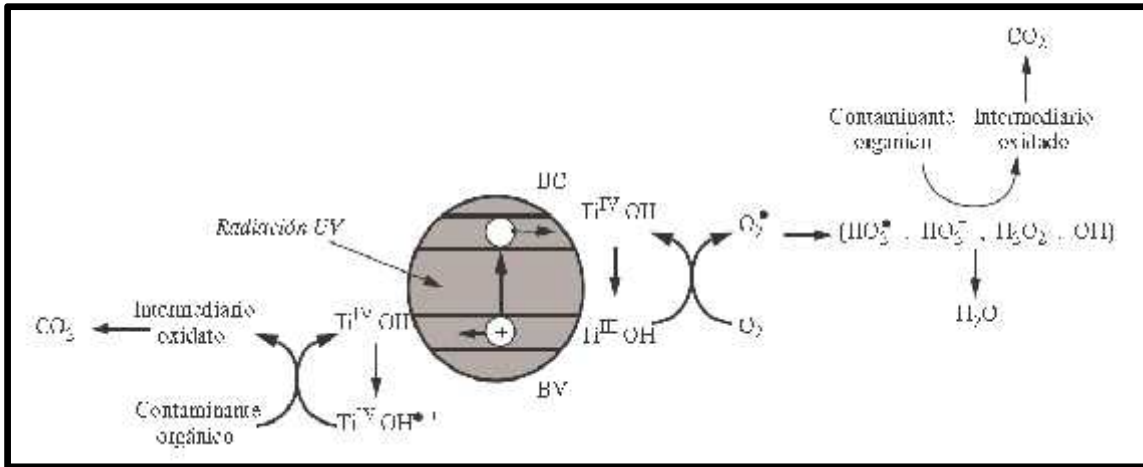


Gráfico 5-1: Proceso de mineralización oxidativa
 Fuente: GIL, E., 2005.

1.8 Lámparas UV

Sus inicios datan del año de 1901 cuando la radiación ultravioleta (UV) fue creada artificialmente y considerado de gran importancia en la desinfección de agua, debido a su elevado costo de producción su producción fue retardada hasta la década de 1970 año en que las lámparas empiezan a tener una vida más prolongada y ser más fiables. Estas lámparas resultan muy importantes para la desinfección del agua ya que el cuarzo es uno de los pocos materiales que resultan casi transparentes a la radiación UV, la misma que es utilizada como una envoltura protectora de los tubos de las lámparas.

Las lámparas fluorescentes como fuente de luz se basan en dos principios (luminiscencia y fluorescencia) la luminiscencia fenómeno luminoso de una sustancia y la fluorescencia fenómeno de luminiscencia de ciertas sustancias cuya excitación se origina debido a la radiación.

Las lámparas tradicionales consisten en un tubo cilíndrico de cuarzo sellado, equipado con electrodos de tungsteno en los extremos, los mismos que contienen mercurio (metal o vapor) y un gas inerte en su interior (generalmente argón). Al aplicarse una diferencia de voltaje a través de los electrodos, los electrones libres que existen dentro del tubo llegan a vibrar a altas velocidades, dirigiéndose del cátodo al ánodo y chocando con los átomos del gas inerte por lo que éste se ioniza por desplazamiento de electrones de la corteza del átomo orbitas más externas y energéticas. (Cerro, 2013)

El átomo de argón electrónicamente excitado puede ocasionar para posteriormente ionizar al átomo de mercurio. Finalmente el átomo de mercurio electrónicamente excitado pierde su energía emitiendo radiación, cuyo rango espectro magnético va a depender de la estructura atómica del gas, presión. Es decir las lámparas emiten radiación debido a la transición energética producida en los átomos de mercurio Hg.

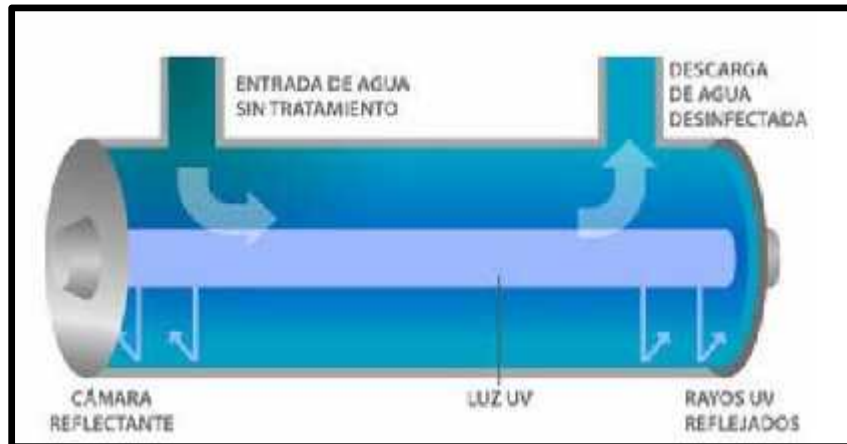


Gráfico 6-1: Esquema lámpara artificial

Fuente: Romero, 2002

A las lámparas de UV se las puede dividir en tres tipos:

- Lámparas de baja presión
- Lámparas de media presión
- Lámparas de alta presión

Las lámparas de baja presión.- estas lámparas son de fácil manejo con una longitud de onda de 254 nm por lo general estas lámparas son las más utilizadas.

Las lámparas de media presión.- utilizan un transformador para emitir luz poli cromática, estas lámparas cubren totalmente la banda UV-C.

Las lámparas ultravioleta de alta presión.- operan a una presión de diez atmósfera.

A continuación se denota las ventajas y las desventajas presentes en las lámparas UV:

VENTAJAS DE LAS LÁMPARAS UV

- Fácil manejo y mantenimiento

- En la desinfección del agua estas lámparas no alteran las propiedades organolépticas de la misma
- Alta eficiencia en la eliminación de microorganismos

DESVENTAJAS DE LAS LÁMPARAS UV

- Estas lámparas para ser utilizadas requieren consumo de energía eléctrica.
- Los costos son altos en relación al tratamiento del agua mediante la cloración.

1.9 Radiación Ultravioleta (UV)

La utilización de métodos fotoquímicos para la eliminación de contaminantes que se hallan en el agua puede resultar muy interesante. Ya que los mismos suministran energía a estos compuestos químicos en forma de radiación siendo absorbida por los grupos cromóforos de las moléculas poniéndolos en un estado activado por un tiempo necesario hasta poder experimentar reacciones.

La energía suministrada es consumida por las moléculas en forma de unidades cuantizadas (fotones) los mismos que llegan a constituir como la cantidad de energía necesaria para excitar electrones específicos y formar sustancias orgánicas muy reactivas conocidas como radicales libres los mismos que van a desencadenar una serie de reacciones en cadena para dar como resultado los productos de reacción, estos radicales libres pueden originarse por homólisis de enlaces débiles o transferencia electrónica desde el estado excitado de la molécula hacia el O₂ molecular, originando un radical súper oxido (O₂•) o hacia otros reactivos como el ozono, peróxido de hidrogeno generando radicales hidroxilo(OH•)

La radiación ultravioleta es la componente del espectro electromagnético localizado entre los rayos X y la luz visible, con una longitud de onda entre 100 y 400 nm. Dividiéndose en cuatro bandas: UV-A (315 –400 nm); UV-B (280 – 315 nm), UV-C (200 – 280 nm) y UV-vacío (40 – 200 nm). Las más utilizadas con fines ambientales son UV-A y UV-C. (Leyva, 2012)

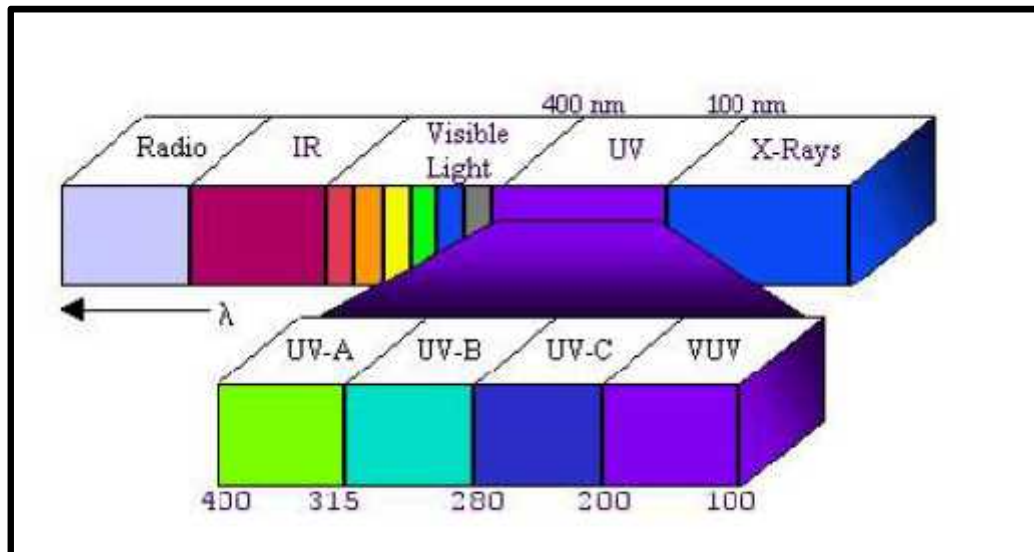


Gráfico 7-1: Espectro electromagnético

Fuente: PG Hewitt - 2002

La radiación UV se caracteriza por tener longitudes de onda muy próximas a las de la luz proveniente del sol. Los parámetros más importantes de la radiación UV concernientes con el tratamiento de aguas son:

- *Longitud de onda:* oscila en el intervalo 240 - 280 nm. (UV-C) a estas longitudes de onda se obtiene la máxima eficiencia en el proceso fotocatalítico.
- *Calidad del agua:* uno de los parámetros con muy poca influencia en la eficacia de la luz UV es la temperatura, pero puede llegar a afectar al rendimiento operativo de la lámpara cuando la misma está inmersa en el agua. La radiación UV es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbidez y color.
- *Intensidad de la radiación:* a una menor distancia del agua con respecto al punto de emisión de los rayos UV, mayor será la intensidad del mismo por lo tanto mayor será la eficiencia en el proceso fotocatalítico.
- *Tiempo de exposición:* el tiempo de exposición es vital para asegurar un óptimo desempeño del proceso fotocatalítico ya que es uno de los parámetros muy importantes para que el contaminante tenga contacto con los reactivos del tratamiento. (Martí, 2008)

La radiación Ultra Violeta (UV) es conocido que tiene la capacidad de romper moléculas complejas, pudiendo utilizarse en el tratamiento de diferentes efluentes. Actúa mediante la interacción con las moléculas presentes en el medio líquido provocando en la mayoría de los

casos, una ruptura de los enlaces químicos. Para que la fotólisis suceda es necesario la absorción de un fotón por la molécula y además que la energía del fotón exceda la energía del enlace que se quiere destruir.

Utilizando fotólisis UV se han tratado aguas residuales que contienen compuestos aromáticos clorados y nitrogenados, fenoles, compuestos alifáticos halogenados, aceites, colorantes, pesticidas. Sin embargo, la utilización de radiación UV de forma individual tiene baja eficacia en la degradación de compuestos orgánicos presentes en el agua, por lo tanto este sistema no es lo suficientemente energético y no consigue la mineralización completa de los compuestos químicos analizados incluso cuando se tienen tiempos de aplicación de radiación relativamente largos.

1.10 Parámetros que influyen en la Fotocatálisis Heterogénea

Varios factores pueden influenciar cualitativa o cuantitativamente en el proceso fotocatalítico los mismos que pueden resultar determinantes en la eficiencia de la reacción como los explicados a continuación:

Ph.- Se ha obtenido buenos resultados en el proceso fotocatalítico en un medio ácido pH 3, el pH afecta las características superficiales del catalizador y al contaminante a tratarlo lo que conlleva a alteraciones al momento de degradar.

Características y concentración del catalizador.- Para obtener excelentes resultados el catalizador debe tener una alta área superficial, distribución uniforme del tamaño de sus partículas, no debe presentar porosidad interna. Para la concentración el óptimo resulta aquel todas sus partículas estén iluminadas y el intervalo de concentración óptimo para asegurar una adsorción total y eficiente de fotones es de 0.2 a 5.0 gl^{-1} en el caso del TiO_2 (Degusa P-25). (Cerro, 2013)

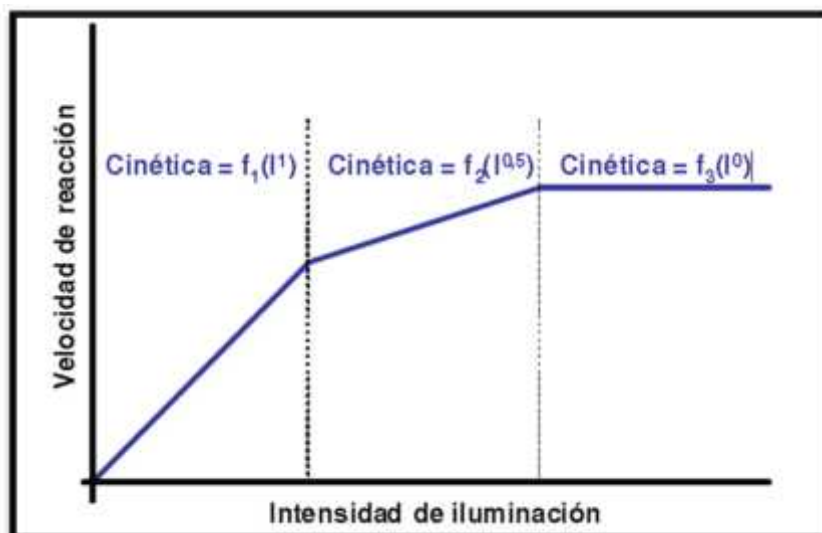


Gráfico 8-1: Intensidad de la radiación

Fuente: K Wilber 1990

Podemos determinar la relación entre la intensidad y velocidad de reacción el mismo que determina que un cambio de orden parcial de 1 a 0.5 determina que la recombinación de ebv^- y hbc^+ comienza a limitar el aprovechamiento de los fotones disponibles .y el cambio del orden cero determina que el sustrato ya no genera más pares aun cuando se eleve la cantidad de radiación. Los parámetros juegan un rol importante en el resultado final dependiendo del tipo o diseño del reactor como geometría-distribución de la luz .óptica tipo de flujo etc. Afectando directa o indirectamente el rendimiento final del proceso.

1.11 Fotocatálisis Homogénea

La fotocatálisis homogénea en el tratamiento de contaminantes que hace referencia a la adición de sales de hierro que actúan como catalizador en presencia de peróxido de hidrogeno H_2O_2 conocido como el reactivo FENTON, el mismo que representa una de las técnicas clásicas en la producción de los radicales hidroxilo, siendo el mismo uno de los agentes oxidantes más potentes a un Ph ácido en rangos de 3-5, el hierro (Fe) es incorporado como una sal ferrosa o férrica.

1.11.1 Reacción Fenton

Uno de los tratamientos físico químico para el tratamiento de aguas residuales más prometedores para la eliminación de lixiviados es la oxidación FENTON basándose en la oxidación de la carga

contaminante. El reactivo Fenton combina al peróxido de Hidrogeno H₂O₂ y sulfato ferroso a presión atmosférica y temperatura de 20°-40° °C, para tener éxito en los resultados una de las condiciones importantes es a valores ácidos de pH logrando remover a los contaminantes orgánicos.

El reactivo Fenton involucra un cambio estructural en la estructuras de los contaminantes. Una oxidación que produce una disminución de la toxicidad de los efluentes. El responsable de la oxidación de los contaminantes en este proceso Fenton es el radical hidroxilo:



Este reactivo se forma debido a la descomposición catalítica del peróxido de hidrogeno en un Medio Acido. Encontramos una enorme variedad de compuestos orgánicos muy susceptibles al reactivo Fenton por ejemplo sustancias Como el fenol y benceno que se oxidan con facilidad a diferencia de compuestos clorados que necesitan mayor Tiempo para su tratamiento.

Cuando se utiliza una proporción de $[\text{Fe}_2^+]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ igual o mayor a 1,25, la reacción Fenton puede dividirse en dos procesos. El primero proceso consiste en una oxidación inicial a valores bajos de pH, alrededor de 3. . (Guajardo, 1995)

El segundo proceso, sigue al de oxidación, es la coagulación-floculación a valores altos de pH (entre 7 - 8). Se interpreta que El Paso de coagulación en la reacción Fenton desempeña un papel primario en la remoción selectiva de contaminantes, ya que la reacción Fenton no es una coagulación.

Sin embargo, ya que el éxito de la remoción de contaminantes orgánicos en la reacción Fenton resulta más elevada que la coagulación, la reacción Fenton en el proceso de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

1.12 Mecanismos de Fotocatálisis Homogénea

El mecanismo se basa en la reacción Fenton el mismo que aumenta su eficiencia con la luz que produce la fotólisis de hidruro complejos de Fe⁺³:



El Fe^{+2} foto generado da origen a los radicales hidroxilo $\text{OH}\bullet$ el proceso El proceso es catalítico puesto que el Fe^{+2} que se oxida a Fe^{+3} en la reacción de Fenton, se reduce de nuevo a Fe^{+2} por acción de la radiación. Estas dos reacciones dan origen a los radicales hidroxilos. El proceso es muy eficiente para la eliminación de carga orgánica que posean cationes metálicos dentro de su estructura.

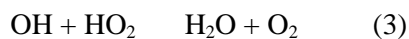
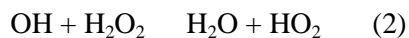
1.13 Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2)

Al peróxido de hidrogeno se lo ha venido utilizando durante varios años en lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales con la finalidad de reducir o eliminar la carga orgánica y olores producidos por compuestos azufrosos en comparación con otras sustancias el peróxido tiene un poder mucho más elevado que el permanganato y el cloro, al tratarse de una sustancia totalmente miscible al contacto con el agua no produce precipitados peor aún compuestos clorados Al peróxido se lo ha utilizado como un agente oxidante o como blanqueador en varios procesos químicos industriales.

El H_2O_2 es una sustancia muy fácil de encontrar, es muy seguro y facilidad de manejo, además no representa ningún peligro al entrar en contacto con el medio ambiente ya que se descompone en oxígeno y agua. . (Guajardo, 1995)

El peróxido de hidrogeno es una excelente opción para la producción de radicales hidroxilo ($\text{OH}\bullet$) vía catálisis u procesos de oxidación avanzada para degradar compuestos refractarios o poco biodegradables. En procesos que utiliza agua caliente presurizada y peróxido de hidrogeno como oxidante puede ser ampliamente utilizados en la degradación de compuestos cuya estructura sea muy difícil de degradar como en el caso del fenol.

Las reacciones que suceden son las siguientes:



Dónde:

La pareja de colisión sería el agua (X) y radicales como el HO₂ y OH• tienen alta reactividad en la conversión del fenol a radical fonos. El peróxido de hidrógeno tiene una gran facilidad para descomponerse ya sea mediante fotólisis, ozono lisis, o reducción con Fe²⁺ (Fenton) el cual da origen a la formación de subproductos intermedios como OH• (radical hidroxilo).

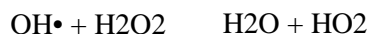
1.14 Parámetros que Influyen en el Proceso Foto - Fenton

1.14.1 Efecto del pH

El reactivo Fenton y foto-Fenton, tienen una correcta actividad catalítica máxima aun pH de 2,8 aproximadamente. El pH tiene una gran influencia en la generación de radicales hidroxilo y por ello, en la eficiencia de la oxidación. El pH por encima de 4, la degradación disminuye drásticamente, aparecen precipitados de hidróxido de hierro y disminuye la cantidad de Fe²⁺ disponible.

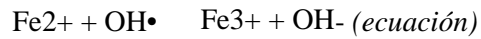
1.14.2 Influencia de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno

La velocidad de degradación es mayor con la cantidad de peróxido de hidrógeno H₂O₂, debido a la producción de radicales hidroxilo. En ciertos casos a partir de una determinada cantidad de H₂O₂, la velocidad de la reacción puede verse afectada negativamente, debido posiblemente a la auto-descomposición del H₂O₂ en oxígeno y agua, por recombinación con radicales hidroxilo:



1.15 Efecto de la cantidad de sal de Hierro

Al igual que el peróxido de hidrógeno, la velocidad de degradación aumenta con la cantidad de sal empleada, pero a partir de una determinada concentración de hierro disminuye la eficiencia de la reacción. Esto puede deberse al aumento de la turbidez de la disolución, que dificulta la absorción de luz necesaria para la realización del proceso foto-fenton, o a la reacción del Fe²⁺ con radicales hidroxilo como se representa a continuación:



1.16 Concentraciones relativas de reactivos y contaminante

Cuando tenemos un exceso de catalizador como un exceso de peróxido de hidrógeno pueden resultar contraproducentes porque en ambos casos se favorecen las reacciones improductivas.

La concentración óptima de peróxido depende de la naturaleza y concentración de la materia orgánica a tratar, así como de la concentración de hierro presente en la reacción. Las relaciones molares óptimas de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}$ de entre 10 y 25 han sido propuestas por varios autores cuando se lleva a cabo el proceso en fase homogénea

1.17 LUZ

En varios estudios realizados se ha comprobado que el proceso foto-Fenton es más efectivo que el Fenton. El tipo de luz empleada también influye, cuanto mayor energía posea la radiación más se favorece el proceso de oxidación de los contaminantes

1.18. Ventajas e inconvenientes del proceso fenton

- Las ventajas que presenta el proceso Fenton es que las sales de hierro son muy abundantes y no resultan tóxicas, el peróxido de hidrógeno es fácil de manejar y ambientalmente resulta benigno
- Constituye una técnica de tratamiento para contaminantes altamente tóxicos y difíciles de eliminar con otros tratamientos
- Esta técnica no forma compuestos clorados en la desinfección del agua como es el caso de la cloración y no existe limitaciones de transferencia de masa como en la ozonización al ser un sistema homogéneo
- Uno de los inconvenientes que presenta es el elevado costo de los reactivos empleados y la cantidad de parámetros críticos a ser controlados

- El pH es un parámetro que debe ser controlado ya que si es muy bajo puede descomponerse el reactivo peróxido y a pH mayores a cuatro se producen precipitados de hierro

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Unidad de estudio

En el presente estudio, se presentó como unidad de análisis al fenol presente en las aguas residuales provenientes de las descargas de la industria petroquímica de la refinería de Shushufindi (Ecuador), las cuales fueron analizadas través de la caracterización de la descarga de los efluentes.

2.1.1 Localización

La refinería Amazonas 1 perteneciente al complejo Industrial Shushufindi que haya ubicado en la provincia de Sucumbíos (Ecuador).

2.1.2 Población de Estudio

Para el presente proyecto se tomó como población las aguas residuales de las descargas generadas por la industria petroquímica de la refinería de Shushufindi perteneciente a la empresa estatal EP PETROECUADOR.

2.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva enfocada prospectivamente a eliminar la contaminación por fenoles generada por la industria petroquímica ubicada en la Refinería de Shushufindi de EP PETROECUADOR.

Se llevó a cabo una investigación del tipo Cuasi experimental enfocada principalmente a la degradación de fenol presente en las descargas de aguas residuales industriales de la refinería de Shushufindi, para ello se caracterizó las aguas residuales en la planta industrial antes de que se aplique una técnica de oxidación y foto oxidación catalítica, para la comprobación del resultado

se realizó el último análisis de la muestra después de haber aplicado el tratamiento determinando cual eficiente es este tratamiento para la eliminación del fenol.

2.2.1 Tipos de Variables

2.2.1.1 Variable Independiente

Técnicas de fotoxidación catalítica homogénea y heterogénea para la degradación del fenol de las aguas residuales industriales.

2.2.1.2 Variable Dependiente

Degradación del fenol presente en las descargas residuales industriales de la refinería de shushufindi.

2.2.1.3 Variable Interviniente

Falta de catalizadores para la foto degradación. Tiempo necesario para que el catalizador y la UV-Visible degraden los compuestos persistentes. Para recolectar la información a nivel bibliográfico se utilizará la técnica de la lectura de información y fichas bibliográficas. El trabajo de campo se lo realizará dentro de la refinería de shushufindi de EP PETROECUADOR. Todos los datos obtenidos del trabajo de campo, serán tabulados para luego ser presentados e interpretados mediante estadística descriptiva.

2.3 Métodos y Técnicas

2.3.1 Foto catálisis Heterogénea

La fotocatalisis heterogénea en la actualidad constituye una técnica muy eficiente para la eliminación de compuestos contaminantes persistentes presentes en aguas residuales industriales. La fotocatalisis heterogénea combina un catalizador y luz (solar o radiación ultravioleta) cuya finalidad es acelerar la reacción química llegando a la degradación del contaminante. Para la degradación del fenol mediante la fotocatalisis heterogénea la metodología utilizada es la siguiente.

2.3.1.1 Procedimiento Fotocatálisis Heterogénea

Para la aplicación de la fotocátalisis heterogénea fue necesario determinar cuál eficiente es este tratamiento para eliminar el fenol presente en las descargas de los procesos de refinamiento de petróleo en la refinería de Shushufindi.

Para la fotocátalisis heterogénea es necesario utilizar un reactor foto catalítico por el cual circula del agua residual que tendrá contacto con el TiO₂ y la luz UV con el objetivo de minimizar el contenido de fenol en el agua residual.

En el tratamiento foto catalítico se utilizó la siguiente metodología

- Elaboración del Reactor Fotocatalítico
- Impregnación del Dióxido de Titanio
- Contaminación del agua con fenol

2.3.1.2 Elaboración del Reactor Fotocatalítico

Para elaborar el reactor fotocatalítico necesitamos un esterilizador UV HELIMAX para la esterilización de agua empleado en acuarios.

Este esterilizador consta de una lámpara UV de baja potencia 9 watts que funciona con una carga eléctrica de 110 voltios, esta lampara esta calibrada con una longitud de onda de 240 – 280 nm. Tomamos un tubo PVC de 5 pulgadas de diámetro y una longitud de 35 cm para acoplarlo al esterilizador con una pega especial para PVC.

Este reactor está unido a un bidón con una capacidad de 20 litros atreves de una manguera plástica y abrazadera metálicas para eliminar fugas y con una desembocadura para el agua tratada que estará conectada a un filtro de carbón activado y un sistema de oxigenación.

2.3.1.3 Impregnación del Dióxido de Titanio

El catalizador óptimo para el tratamiento fotocatalítico es el dióxido de titanio (TiO_2) DEGUSA p25 el mismo que será impregnado en el interior del reactor fotocatalítico. Como material de adherencia se utilizó una silicona con características neutras (sin color y no producen reacción).

Con una pistola para silicona se colocó en la parte interna del reactor silicona y con una espátula esparció uniformemente verificando que cubra toda la superficie interna del tubo PVC.

Se utilizó 50 g del catalizador pesado en la balanza analítica (ADAM), luego la ponemos sobre la silicona realizando presión para que esta se adhiera a la silicona quedando impregnada repitiendo este paso varias veces hasta lograr los resultados deseados

Toda la superficie interna del reactor debe estar impregnada de catalizador por donde circulara el agua con fenol y donde se va a dar el contacto con la lámpara UV.

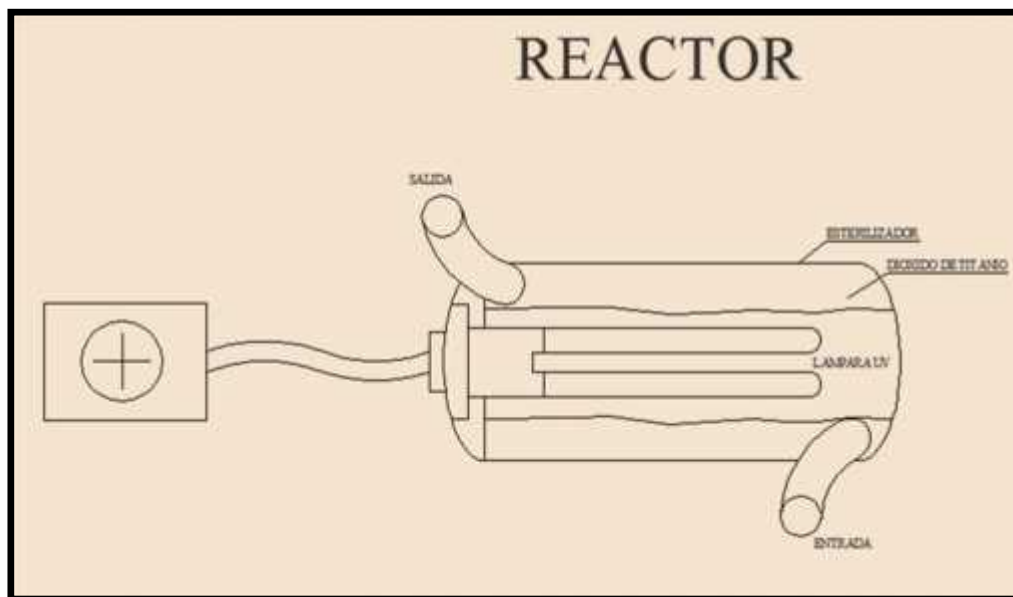


Gráfico 1-2: Esquema reactor fotocatalítico

Elaborado: Colcha David, 2015.

2.3.1.4 Contaminación de Agua con Fenol

Para realizar los ensayos y la determinación de la eficiencia del reactor es necesario realizar pruebas preliminares, tomamos 20 litros de agua destilada en el bidón. Pesamos una concentración de fenol (99.5 % de pureza) en la balanza analítica de precisión (ADAM).

Disolvemos el fenol en el agua destilada y mediante una varilla de agitación realizamos movimientos circulares hasta disolverlo en su totalidad. Mediante el método Standard Methods N°. APHA5530 C determinamos la concentración de fenol en el agua.

Realizado el análisis se determinó que la muestra tenía una concentración de fenol de 29.50 ppm.

2.3.1.5 Ajuste de pH para el tratamiento de Fotocatálisis Heterogénea

La fotocatalisis heterogénea es un proceso que según bibliografía se ha determinado que se logra excelentes resultados de degradación del fenol a valores de pH ácidos.

Para bajar el pH de la muestra se utilizó HCl (50ml) concentrado, que mediante goteo y agitación se obtuvo el valor de 3.

Se utilizó un pH metro para ir determinando el valor al que se hallaba la muestra. El valor inicial de la solución con fenol fue de pH de 7.24.



Fotografía 1-2: Ajuste de pH de la solución a pH ácido

Realizado por: Colcha David, 2015.

2.3.1.6 Elaboración de Filtro de Carbón Activado

El agua tratada en el reactor fotocatalítico después del tratamiento toma una coloración amarillenta la misma que por características organolépticas debe ser eliminada. Para la eliminación del color se utilizó un filtro de carbón activado, se tomó un filtro para agua potable.

Sacamos el filtro para el agua que viene en su interior que es de papel filtro muy cuidadosamente sin alterar los conductos de circulación.

Se pesó 500 g de carbón activado granulado con un diámetro de 0.5 cm en la balanza analítica (ADAM). Con una espátula fue colocado cuidadosamente en la parte interna del filtro para agua el carbón activado hasta llenar la parte interna. Cerramos herméticamente el filtro y lo acoplamos al reactor.



Gráfico 2-2: Carbón activado

Realizado por: Colcha David, 2015.

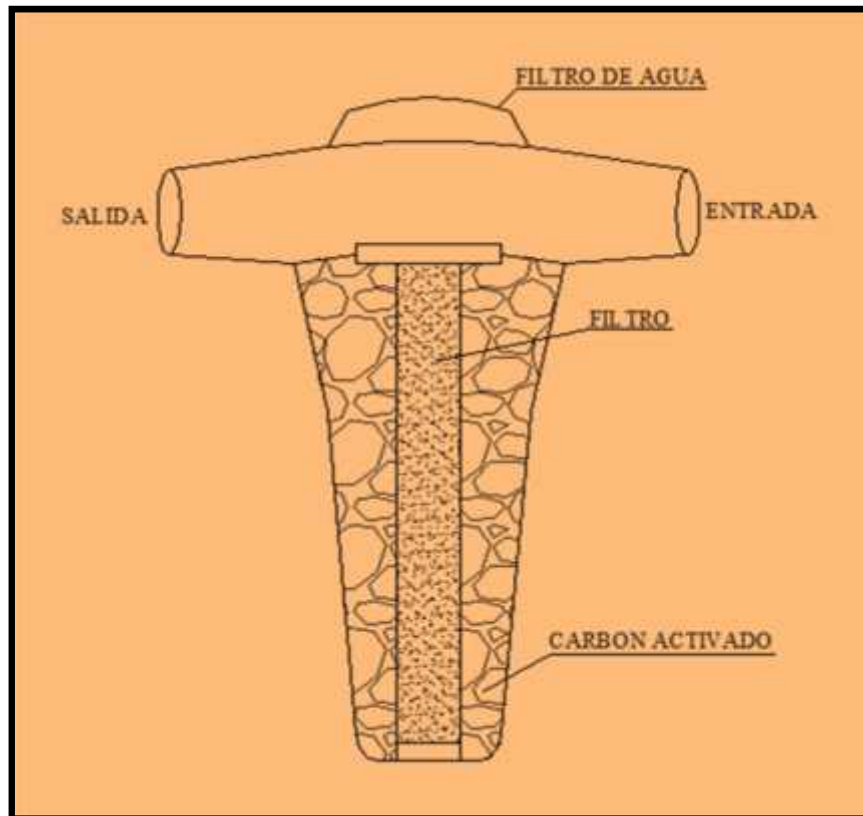


Gráfico 3-2: Diagrama carbón activado en el tratamiento

Realizado por: Colcha David, 2015.

2.3.1.7 Sistema de Oxigenación

Es necesario incorporar un sistema de oxigenación al proceso foto catalítico utilizando oxigenadores utilizados para proveer oxígeno a los peses en los acuarios, los oxigenadores son de una entrada, utilizamos 2 oxigenadores unidos al reactor mediante mangueras plásticas logrando excelentes resultados. (Guajardo, 1995)

A continuación se representa de forma gráfica todo el sistema que se utilizó para degradar al fenol presente en las aguas residuales:

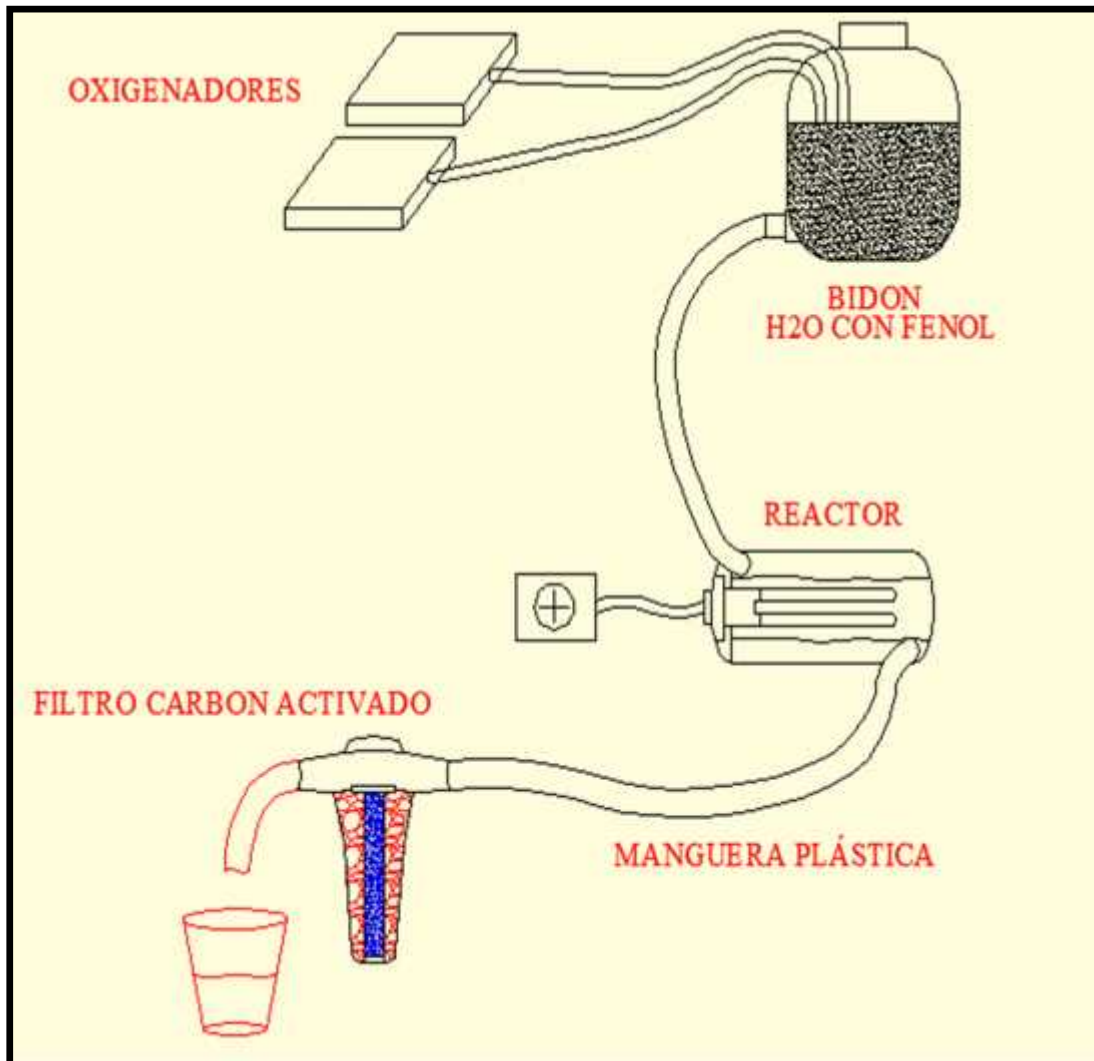


Gráfico 4-2: Diagrama reactor fotocatalítico para la degradación de fenol
 Elaborado: Colcha David, 2015.

2.3.1.8 *Análisis de Agua Tratada*

Para determinar el porcentaje de degradación del fenol en el agua residual se utilizó el método Standard Methods N°. APHA5530 C en el LAB CESTTA (ESPOCH).

2.3.1.9 *Toma de Muestras*

Determinada la eficiencia del reactor, se realizó las pruebas con las aguas residuales de la refinería de Shushufindi (Ecuador) recolectada en una de las descargas de la planta.

Tabla 1-1: Valores de las fuentes de conocimiento

COORDENADAS	18M 0315544/9977875
Tipo de muestra	Muestra simple
Temperatura	Condiciones ambientales del lugar
Hora	15.07 min
Personal que tomo la muestra	Tesista
pH de la muestra	7.24
Parámetro analizar	Fenol

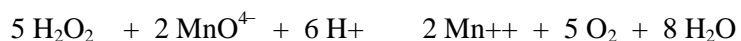
Realizado por: Colcha David, 2015.

2.3.2 Fotocatálisis homogénea

Uno de los tratamientos para las aguas residuales que se ha desarrollado con buenas perspectivas es el proceso Foto-Fenton. Mediante la absorción de la energía solar o UV mas sales hierro y en presencia de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), el mismo que inicia la generación de radicales OH•, especie capaz de oxidar la materia orgánica y contaminantes disueltos en el agua a tratar.

2.3.2.1 Determinación de la Normalidad del Peróxido de Hidrogeno

El peróxido de hidrogeno H₂O₂ reacciona con el Permanganato de Potasio (KMnO₄) en un medio acido de acuerdo a la siguiente reacción:



2.3.2.2 Diseño Experimental en laboratorio

A continuación se detallan los materiales y reactivos utilizados:

Materiales:

- Vidrios reloj
- Buretas
- Soporte Universal
- Pinzas para buretas
- Vasos de precipitación

- Termómetros
- Matraces Erlenmeyer
- Placa de agitación y calentamiento
- Pipetas graduadas
- Pipetas volumétricas
- Fibra de vidrio
- Embudos de tallo corto
- Anillo de hierro

Reactivos:

- Peróxido de hidrógeno H_2O_2
- Permanganato de potasio $KMnO_4$
- Oxalato de sodio $Na_2C_2O_4$
- Ácido sulfúrico H_2SO_4

2.3.2.3 Metodología

- Preparar una solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) 0.2 N.
- El material debe estar limpio y seco.
- Preparar una solución de permanganato de potasio ($KMnO_4$) 0.1N, esta solución debe ser preparada al momento de hacer la determinación.
- Titular cinco alícuotas de permanganato de potasio ($KMnO_4$) con oxalato de sodio ($Na_2C_2O_4$) para determinar la concentración exacta.
- Titular cinco alícuotas de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con permanganato de potasio ($KMnO_4$) agregando dos o tres mililitros de ácido sulfúrico, teniendo el cuidado de aforar la bureta cuidadosamente. Luego abre la llave de la bureta y deja gotear su contenido, sobre el contenido del matraz Erlenmeyer, hasta llegar al punto de equivalencia, que es aquel en el que todo el líquido toma un color rosa muy pálido permanente.
- Anotar cuidadosamente el volumen de ($KMnO_4$) consumido para lograr el punto de equivalencia repitiendo la valoración para las cinco alícuotas.
- Disponer los datos en una tabla similar a la siguiente y calcula la normalidad de las cinco alícuotas de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con el permanganato de potasio ($KMnO_4$).

2.3.2.4 Análisis de la Concentración de Hierro (ISO 6332)

Para la determinación de la concentración de hierro en el sistema (Fe^{2+} , Fe^{3+} y Fe TOTAL) se utilizó la norma ISO 6332. Para la medida del ion Fe^{2+} , se toman 4 mL de muestra previamente filtrada a través de un filtro de PTFE con un tamaño de poro de $0,22\ \mu\text{m}$ (Millipore Millex GN), y se añade 1 mL de solución 1,10-fenantrolina ($1\ \text{gL}^{-1}$) y 1 mL de solución tampón ($250\ \text{gL}^{-1}$ de acetato amónico y $700\ \text{mL}^{-1}$ de ácido acético en agua destilada). Después de agitar se mide la absorbancia a una longitud de onda de 510 nm utilizando una cubeta de 1 cm de paso de luz en un espectrofotómetro (LANGE DR 5000). El cero se hace colocando agua del grifo previamente filtrada a través de un filtro de $0,22\ \mu\text{m}$ en la posición de la muestra. En cuanto a la medida de hierro total, se sigue el mismo procedimiento utilizado para el Fe^{2+} , se añade a la muestra filtrada la fenantrolina y la solución tampón y además se adiciona una punta de espátula de ácido ascórbico de forma que el ión férrico se reduzca a ión ferroso y se pueda medir la absorbancia del complejo Fe^{2+} -fenantrolina a 510 nm.

Para esta medida, empleamos el mismo blanco anterior. Consecuentemente, la concentración de Fe^{3+} presente en la muestra se puede obtener por diferencia entre el hierro total y el Fe^{2+} .

El buen funcionamiento del espectrofotómetro así como la buena calidad de las disoluciones empleadas, se demuestra mediante la medida de la primera muestra justo después de la adición del catalizador (Fe^{2+}) y una vez bien homogeneizada. Si el pH se encuentra por debajo de 3 la concentración de ión ferroso resultante debe corresponderse exactamente con la que teóricamente se ha añadido al reactor, puesto que el volumen del mismo es conocido.

A partir de los datos de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro se calcula la concentración de hierro utilizando una recta de calibración externa realizada para un rango de concentraciones de 0 a $10\ \text{mgL}^{-1}$ de Fe^{2+} . Si la concentración esperada de hierro total o Fe^{2+} es superior a $10\ \text{mgL}^{-1}$ se efectúa la correspondiente dilución de la muestra. Para el tratamiento Fenton utilizamos el peróxido de hidrogeno H_2O_2 y sulfato de hierro hepta hidratado $\text{FeSO}_4 \cdot 7\ \text{H}_2\text{O}$ y ácido clorhídrico para que el pH de la solución a tratar este en pH ácido 3. Utilizamos peróxido de hidrogeno H_2O_2 en una cantidad de $600\ \text{mg/L}$ y una cantidad de $100\ \text{mg/L}$ de sulfato de hierro hepta hidratado $\text{FeSO}_4 \cdot 7\ \text{H}_2\text{O}$ (equivalente a $20\ \text{mg/L}$ de hierro). Con una cantidad de 20 ml de ácido clorhídrico colocamos en la solución hasta ajustar el pH a 3 valor óptimo para la degradación del fenol en el proceso Fenton. (Campos, 2014)

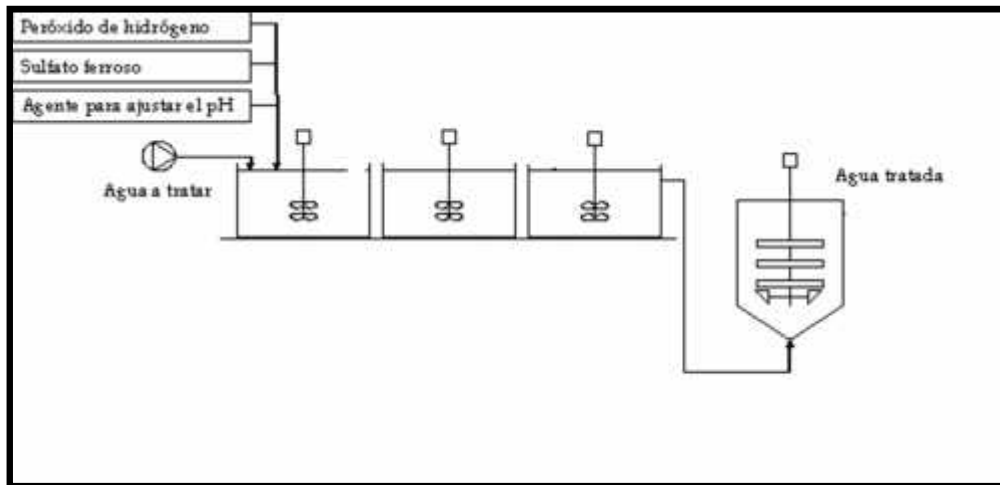


Gráfico 5-2: Diagrama de oxidación fenton

Fuente: David Colcha 2015.

2.3.2.5 Equipos de Análisis Instrumental

2.3.2.5.1 Balanza Analítica

la balanza electrónica analítica utilizada en la investigación fue la balanza ADAM para medir sustancias solidas que tiene una capacidad de pesado máximo de 250 gramos y una densidad de 0.0001 g.



Fotografía 2-2: Balanza analítica ADAM

Realizado por: Colcha David, 2015.

2.3.2.5.2 Ph – Metro

El equipo utilizado para determinar el valor de ph de las soluciones utilizadas fue el Ph metro marca (HANNA INSTRUMENT) con electrodos de pH de vidrio, electrodo de referencia y compensador de temperatura.



Fotografía 3-3: pH metro Hanna Instrument

Realizado por: Colcha David, 2015.

2.3.2.5.3 Espectrofotómetro (Perkin)

El equipo utilizado para medir la absorbancia de las sustancias fue el Espectrofotómetro (Perkin), de doble haz, controlado por microprocesador, con pantalla fluorescente y teclado interactivo. Sistema óptico Lamda 20 tiene dos fuentes de radiación, una lámpara de deuterio y otra lámpara halogenada posee filtro óptico con una rendija para dos espejos.

Tabla 2-2: Las principales características de longitud de onda 190 a 700 nm:

Exactitud de longitud de onda	$\pm 0,3$ nm
Ancho de banda:	1 nm o 2 nm (fijada la rendija)
Cambio de lámpara	a 326 nm. Automáticamente
Rango fotómetro	Absorbancia -6000 a +6000. Transmisión 0% a 100%
Presión fotométrica:	Absorbancia $\pm 0,003$
Luz difusora	$>0,02\%$ T

Rendija 2 nm Absorbancia	<0,00006 ^a
Rendija 1 nm Absorbancia	<0,00008 ^a

Fuente: Espinosa, Análisis Instrumental



Fotografía 4-4: Espectrofotómetro

Realizado por: Colcha David, 2015.

2.3.2.5.4 *Mufla (Vulcan)*

Equipo utilizado para la calcinación de los sólidos fue la mufla vulcan la misma que alcanza temperatura máxima de 1225 °C.



Fotografía 5-5: Mufla

Realizado por: Colcha David, 2015.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentó todos los resultados y análisis obtenidos de la parte experimental, con sus respectivas discusiones. Los datos obtenidos se subdividieron en tres sub capítulos, el primer subcapítulo corresponde a la prueba de foto catálisis heterogénea con TiO_2 y luz UV y agua potable contaminada para determinar la efectividad del equipo foto reactor en la solución ajustado el pH a 3.

El segundo subcapítulo corresponde a la prueba de fotocátalisis heterogénea con TiO_2 y luz UV donde se trató agua residual industrial proveniente de la descarga de la refinería de shushufindi donde se realizó el tratamiento a pH a la que el agua es descargada, y a un pH ácido 3.

El tercer subcapítulo corresponde al tratamiento de oxidación homogéneo (FOTO-FEMTON) donde se utilizó peróxido de hidrogeno, hierro II (Sulfato Férrico hepta hidratado) y luz solar, tratando agua residual industrial de la descarga de shushufindi bajo condiciones de pH de la descarga y a pH ácido 3.

Los resultados de la degradación del fenol en agua residual fueron medidos a ciertos intervalos de tiempo durante el proceso de oxidación, con la finalidad de observar el comportamiento de oxidación y posterior degradación del fenol.

Las muestras tomadas serán enviadas a analizar en el laboratorio CESTTA ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH determinándose la concentración de fenol en cada muestra. Los datos serán analizados estadísticamente determinando así la efectividad de los dos métodos en el proceso de eliminación del fenol.

3.1 Foto-catálisis heterogénea con TiO₂ / UV en agua potable para determinar la efectividad del foto reactor.

Este tratamiento fue realizado con la finalidad de determinar el grado de efectividad del reactor foto catalítico bajo los parámetros de degradación para ello la cantidad de agua a tratar fue contaminada a una concentración de 29.5 ppm de fenol (99.5% DE PUREZA) luego se trató en agua a dos valores de pH 7 y 3 luego las muestras fueron analizadas en el laboratorio CESTTA determinando el valor final de concentración de fenol.

Los resultados obtenidos al realizar el tratamiento a pH 7 fueron los siguientes:

Tabla 1-3: Valores obtenidos con TiO₂/UV a pH 7 con agua potable

tiempo h	lectura 1	lectura 2	lectura3
0	29,5	29,6	29,5
12	26,1	26,1	26,1
24	23,6	23,4	23,6

Realizado por: David Colcha 2015

En la tabla 1-3 se presente valores obtenidos en el tratamiento foto catalítico que fueron obtenidos a tres periodos de tiempo 0 horas, 12 horas de tratamiento y 24 horas de tratamiento obteniendo tres valores de lecturas a cada tiempo.

A pH neutro la degradación del fenol es mínima obteniendo un valor de eliminación de solo 5,9 ppm en 24 horas de tratamiento

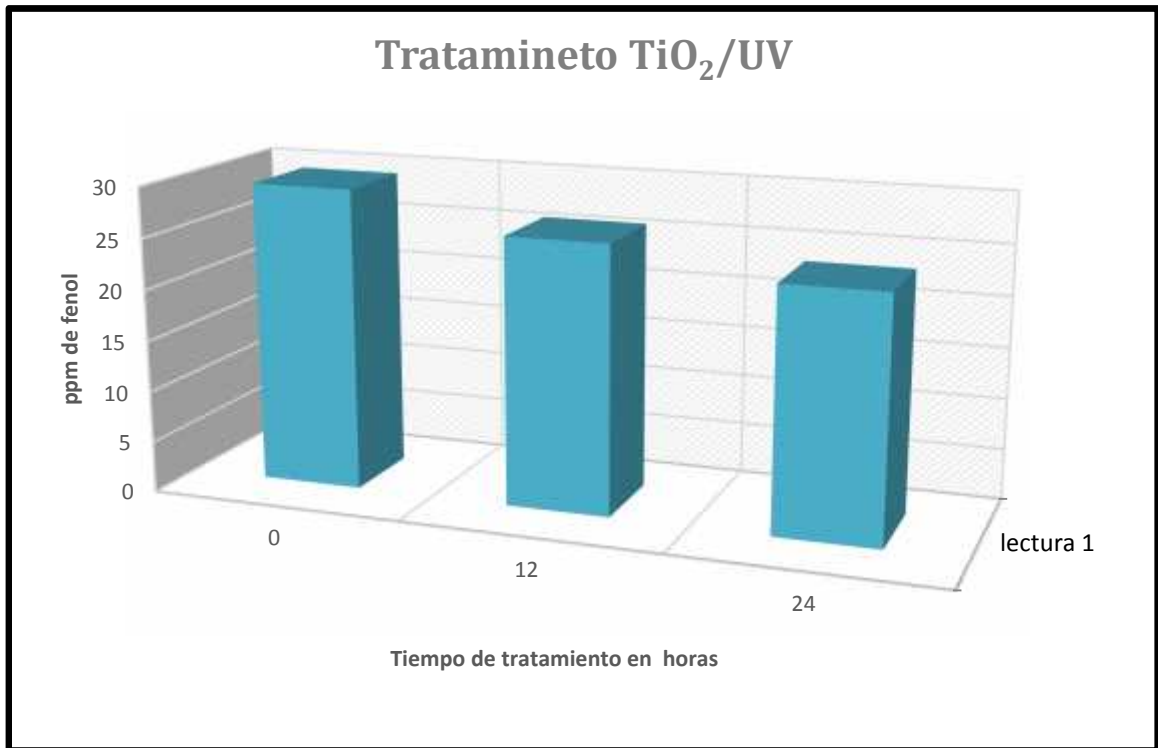


Figura 1-3: degradación del fenol con fotocatalisis a pH 7

Realizado por: David Colcha.2015.

3.2 Tratamiento con fotocatalisis heterogénea a pH 3 para determinar la efectividad del sistema degradador

En el tratamiento a pH neutro se determinó que la eliminación del fenol es mínima para esto nos basamos en investigaciones anteriores que realizaban tratamientos a condiciones acidas. Para ello se llevó el flujo a pH ácido (3) se aplica el tratamiento a estas condiciones y así determinamos cual efectivo es aplicar este tratamiento a pH ácidos

Tabla 2-3: Valores del tratamiento a pH ácido 3

tiempo h	lectura 1	lectura 2	lectura3
0	29,5	29,4	29,5
12	20,7	20,7	20,7
24	9,5	9,5	9,4

Realizado por: Colcha David, 2015.

En la Tabla 2-3 se presentó valores obtenidos en el tratamiento a pH ácido (3) efectuándose tres lecturas a intervalos de tiempos, 0 horas, 12 horas de tratamiento y 24 horas de tratamiento llegándose a determinar que la cantidad de fenol degradado es mayor, es decir el 69% de fenol fue oxidado determinándose que a ese pH se obtiene mejores resultados.



Figura 2-3: degradación del fenol a pH ácido 3

Elaborado: Colcha David, 2015.

La concentración inicial de fenol fue de 29.5 ppm obteniéndose un valor final de 9.50 ppm, este tratamiento fue más efectivo a condiciones ácidas logrando degradar al fenol en un 69% determinando que el reactor foto catalítico resulta efectivo para la eliminación del fenol.

La fotocatalisis homogénea y heterogénea son tratamientos efectivos para degradar el fenol presente en aguas residuales provenientes de procesos de tratamiento de crudo.

3.3 Tratamiento foto catalítico con el agua de la descarga de la refinería de Shushufindi

En este sub capítulo se determinó la degradación del fenol utilizando agua de la descarga de la refinería de shushufindi, se trató un volumen de 20 L a pH de 7.24 (valor al que el agua se descarga de la refinería) obteniendo los siguientes valores.

Tabla 3-3: Resultados de tratamiento fotocatalítico a pH neutro del agua de la refinera de Shushufindi

tiempo h	lectura 1	lectura 2	lectura3
0	0.1	0.1	0.1
12	0.098	0.097	0.097
24	0.094	0.093	0.094

Realizado por: Colcha David, 2015.

En la tabla 3-3 se presentó los valores obtenidos en el tratamiento foto catalítico a pH de 7.24 obteniendo un valor de degradación de 6 ppm durante 24 horas de tratamiento.

Para que la oxidación del fenol sea mayor el tratamiento debe ser efectuado a condiciones acidas.

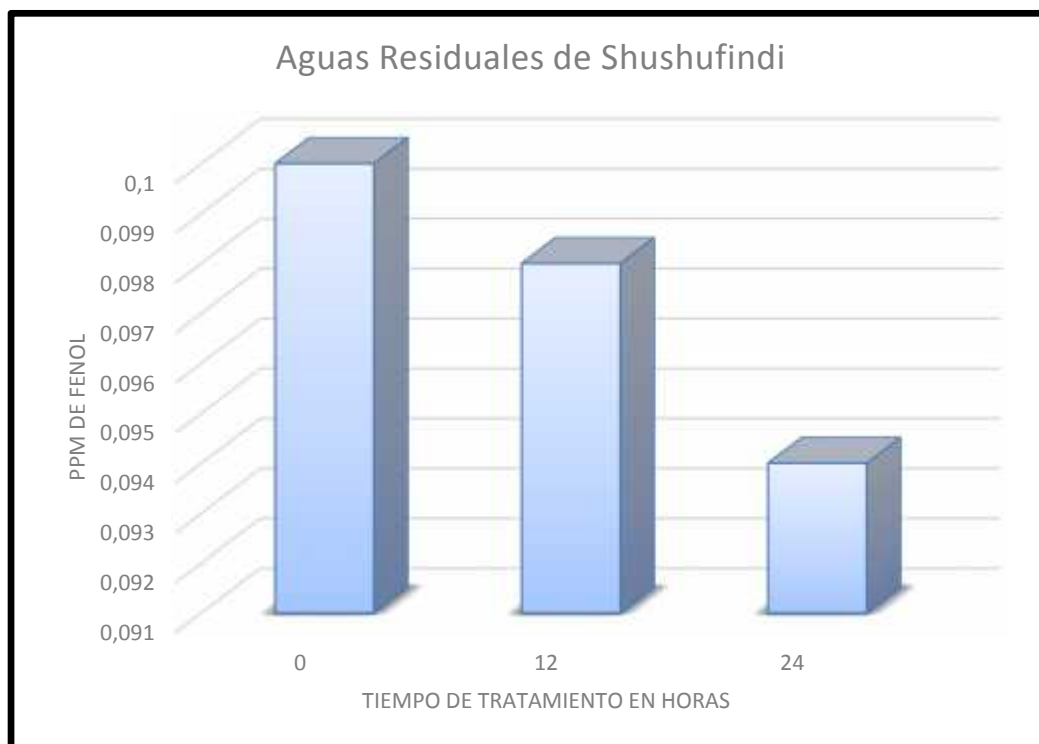


Figura 3-3: degradación del fenol del agua de la refinera de Shushufindi

Realizado por: Colcha David, 2015.

3.4 Tratamiento heterogéneo al agua de la refinería de Shushindi a pH 3

Se realizó el tratamiento foto catalítico al agua de la refinería de shushufindi a pH ácido obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1-3: Valores de la degradación del fenol a pH ácido 3 del agua de la refinería de Shushufindi

tiempo h	lectura 1	lectura 2	lectura3
0	0.1	0.1	0.1
12	0.071	0.07	0.07
24	0.054	0.054	0.053

Realizado por: Colcha David, 2015.

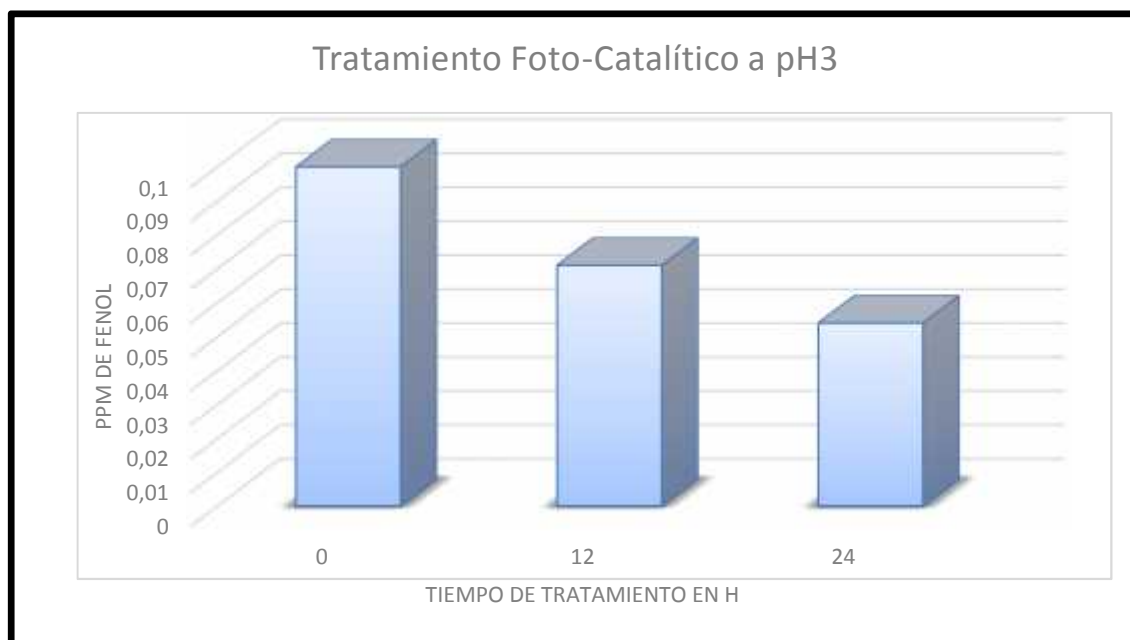


Figura 4-3: Degradación del fenol del agua de la refinería de Shushufindi a pH 3

Realizado por: Colcha David, 2015.

En los dos tratamientos realizados a condiciones acidas se logró una mayor degradación del contaminante, presente en las aguas residuales de refinería en un porcentaje de 46%, es decir casi el 50%.

Las condiciones acidas a las que se realizó el tratamiento foto catalítico debe ser controlado minuciosamente durante el tratamiento para obtener buenos resultados.

3.5 Tratamiento Foto-Fenton al agua de la refinería de Shushufindi

En este subcapítulo se realizó el tratamiento Foto-Fenton al agua de la descarga de la refinería de shushufindi a condiciones acidas el pH a un valor de 3 aquí se realizó el tratamiento en un periodo de 1 hora determinado tres valores de lectura a 0 min de reacción, a 30 min de reacción y a 60 min de reacción. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 5-2: Resultados del tratamiento fenton a pH ácido del agua de la refinería de Shushufindi

tiempo min	lectura 1	lectura 2	lectura3
0	0.1	0.1	0.1
30	0.078	0.076	0.077
60	0.043	0.043	0.043

Realizado por: Colcha David, 2015.

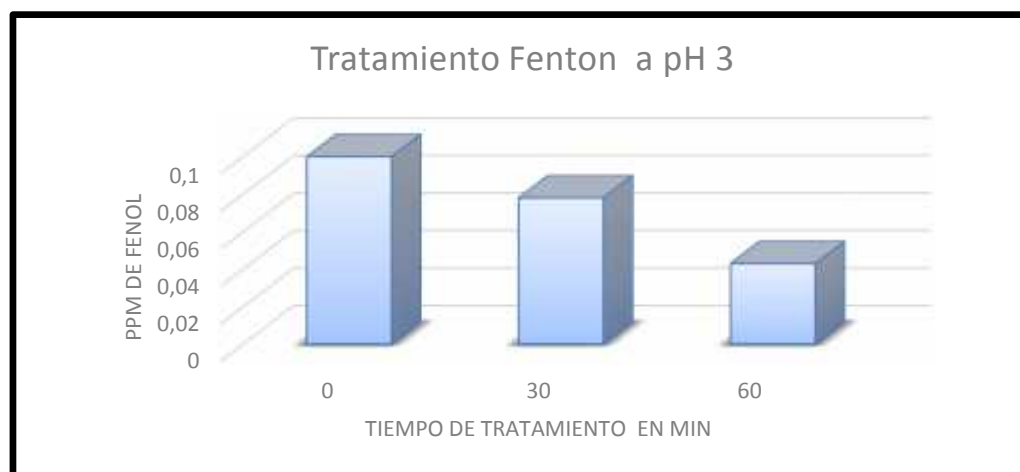


Figura 5-3: Tratamiento fenton al agua de la refinería de Shushufindi a pH ácido

Realizado por: Colcha David, 2015.

La cantidad de fenol en este tratamiento bajo condiciones acidas se redujo un 57%

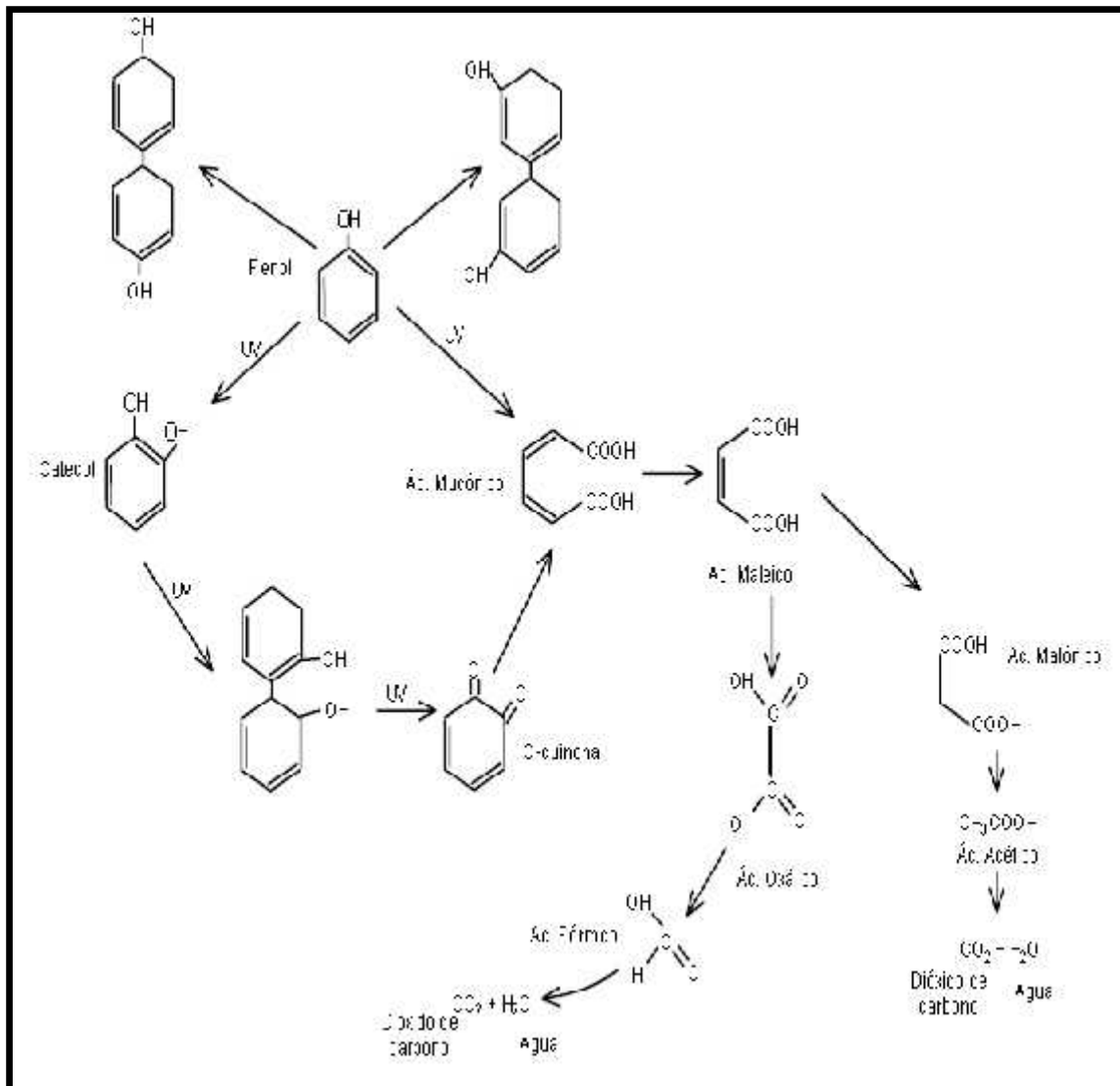


Gráfico 9-3: Mecanismo de degradación del fenton con luz UV

Realizado por: Colcha David, 2015.

3.6 Tratamiento Foto-Fenton del agua de la refinería de Shushufindi a pH neutro

Este tratamiento se realizó a pH de 7.24 este valor fue medido al momento de recolectar la muestra en el punto de descarga, este tratamiento fue realizado para determinar las condiciones óptimas para la oxidación del contaminante mediante el proceso FENTO (peróxido de Hidrogeno y + sales de hierro II).

Los tiempos de lectura fueron: 0 min, 30 min, 60min, determinando el grado de reacción y eliminación del fenol obteniendo los siguientes datos.

Tabla 6-3: Degradación del fenol del agua de refinería a pH 7

tiempo min	lectura 1	lectura 2	lectura3
0	0.1	0.1	0.1
30	0.097	0.097	0.096
60	0.092	0.092	0.092

Realizado por: Colcha David, 2015.

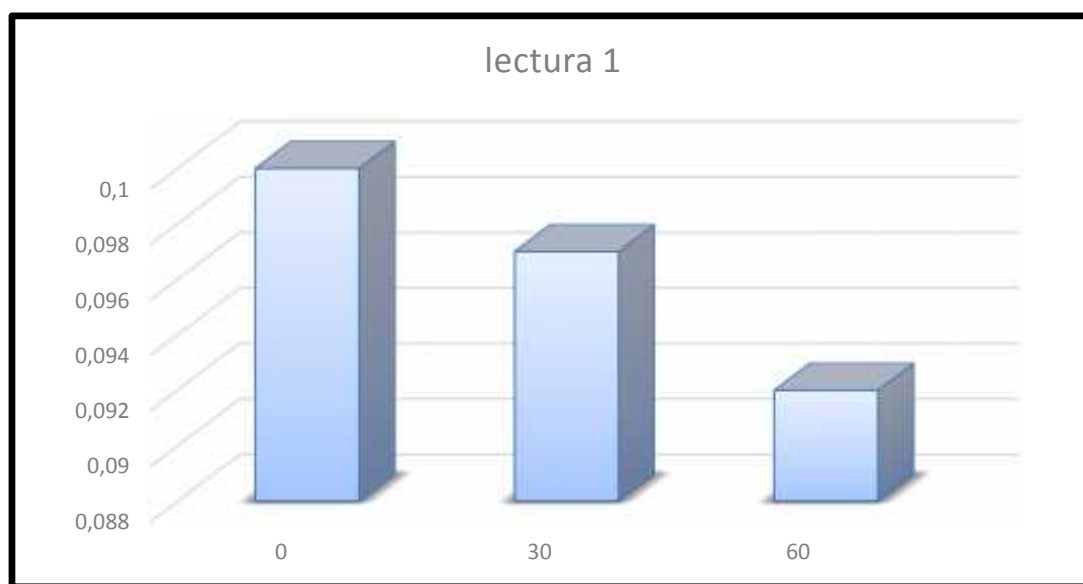


Figura 6-3: Degradación del fenol del agua de la refinería de Shushufindi a pH 7,24

Elaborado: Colcha David, 2015.

En el tratamiento FENTO el porcentaje de fenol eliminado fue (8ppm) a condiciones neutras (pH 7) la degradación no es muy efectiva. A estas condiciones se produce precipitados de hierro alterándose el tratamiento

3.7 Análisis estadístico de las pruebas de degradación del fenol en la aguas de la refinería.

El análisis estadístico fue realizado para determinar la efectividad que tienen los dos tratamientos (homogéneo y heterogéneo) tomándose como factor importante el pH y los resultados finales obtenidos a esas condiciones son:

Tabla 7-4: Análisis estadístico entre tratamientos fotocatalíticos a pH 7,24

PH 7,24			
MÉTODO	T1	T2	T3
TiO ₂	0.1	0.097	0.094
FENTON	0.1	0.097	0.092

Realizado por: Colcha David, 2015.

Tabla 8-5: Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
T1	2	0.2	0.1	0
T2	2	0.194	0.097	0
				0.000
T3	2	0.186	0.093	0.002

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
					0.00769	9.55209449
Entre grupos	4.93333E-05	2	2.46667E-05	37	0.034	6

Dentro de los grupos	0.000002	3	6.66667E-07
Total	5.13333E-05	5	

Realizado por: Colcha David, 2015.

Tabla 9-6: Análisis estadístico entre tratamientos fotocatalítico a pH 3

PH 3			
MÉTODO	T1	T2	T3
TiO ₂	0.1	0.07	0.054
FENTON	0.1	0.077	0.042

Realizado por: Colcha David, 2015.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
				<i>a</i>
T1	2	0.2	0.1	0
T2	2	0.147	0.0735	2.45E-05
T3	2	0.097	0.0485	6.05E-05

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para</i>
----------------------------------	--------------------------	---------------------------	----------------------------------	----------	---------------------	---------------------------

						<i>F</i>
Entre grupos	0.002653	2	0.0013265	46.817	0.0054	9.5520944
				64706	6989	96
Dentro de los grupos	0.000085	3	2.83333E-05			
Total	0.002738	5				

El análisis realizado fue ANOVA. Determinándose que no existe un rango muy amplio de diferencia entre los dos tratamientos, los dos tratamientos lograron oxidar al fenol casi el 50% es decir los tratamientos resultan óptimos para tratar efluentes industriales.

3.8 Elaboración de las curvas de calibración

En esta investigación se realizó las curvas de calibración del fenol (99.5% de pureza). Se tomó como base un patrón para hallar las curvas. Al desconocer la concentración a la cual se descarga las aguas con el contaminante fue necesario sacar dos curvas de calibración, a bajas concentraciones:(5,10,15,20,25) ppm y a altas concentraciones:(50,75,100,125,150) ppm.

Se preparó las soluciones en valones aforados de 100ml y agua bi destilada, se realizaron diluciones para cada concentración y llevadas al espectrofotómetro a 270 mn para determinar las absorbancia

Tabla 10-7: Bajas concentraciones para el fenol

Ppm	ABS
5	0.016
10	0.036
15	0.059
20	0.076
25	0.094

Realizado por: Colcha David, 2015.

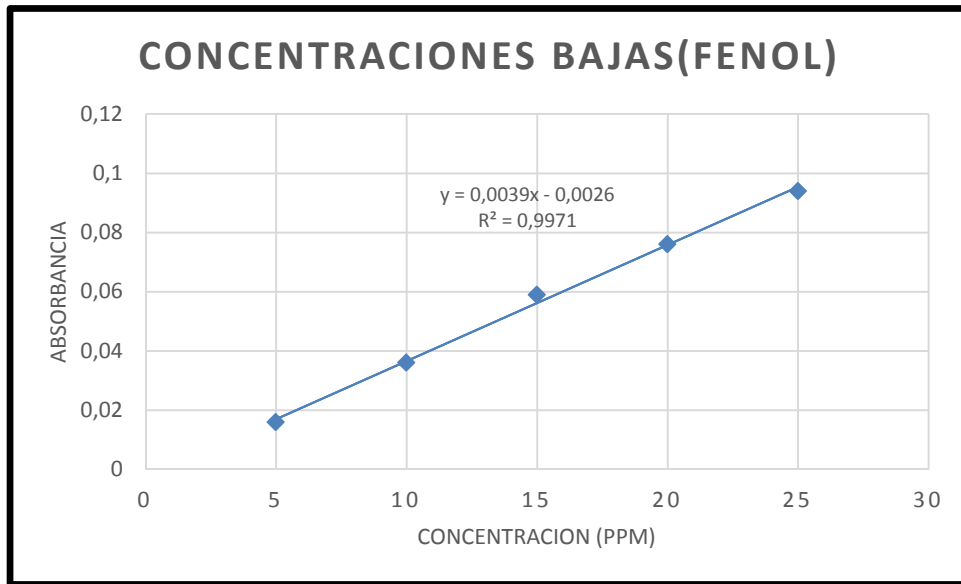


Figura 7-3: Curva obtenida con los resultados en concentraciones bajas
 Realizado por: Colcha David, 2015.

3.9 Curva de calibración del fenol con altas concentraciones

Para las bajas concentraciones se utilizó fenol con una pureza del 99.5% y agua bi-distilada, se utilizó soluciones de fenol a distintas concentraciones de 50, 75,100, 125, 150, que fueron medidas al espectrofotómetro a una longitud de onda de (270 nm para el fenol) determinado sus absorbancias obteniendo los siguientes valores.

Tabla 11-8: Altas concentraciones

ppm	ABS
50	0.156
75	0.231
100	0.309
125	0.414
150	0.502

Realizado por: Colcha David, 2015.

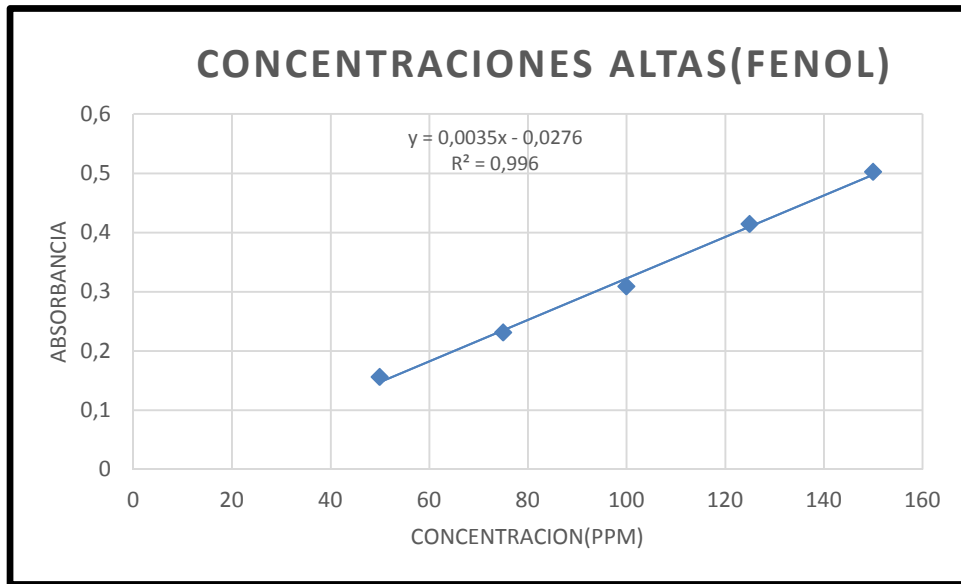


Figura 8-3: Curva obtenida con altas concentraciones
Realizado por: Colcha David, 2015.

CONCLUSIONES

- Se degradó el fenol que se halla presente en las aguas residuales industriales mediante la foto-oxidación catalítica homogénea y heterogénea
- Se determinó que las aguas residuales industriales de la descarga de la refinería de Shushufindi son descargadas con una carga de fenoles de 0.100 mg/L(ppm)
- Según los resultados obtenidos la eficiencia de la fotocatalisis homogénea es más eficiente con un porcentaje de degradación del 57% y la foto catalisis heterogénea tiene un porcentaje de degradación del 46 % determinando así que el tratamiento más eficiente es el tratamiento Fenton.
- Se elaboró una planta piloto de foto degradación de compuestos fenólicos tomando en cuenta sus principales componentes; catalizador TiO_2 , lámpara de UV- Visible, así como el sistema de oxigenación, el filtro que carbón activado para mejorar su rendimiento para la eliminación de contaminantes.
- Como catalizadores, se determinó que el dióxido de Titanio (TiO_2) DEGUSA tipo anatasa es muy eficiente para degradar el fenol, en la fotocatalisis heterogénea y para la fotocatalisis homogénea el peróxido de hidrogeno y las sales de hierro II.
- Con los resultados obtenidos se ratifica la eficacia de esta técnica foto-catalítica en la degradación de contaminantes de alta toxicidad en comparación con tratamientos físicos, químicos y microbiológicos.
- Se logró degradar al contaminante (fenol) presente en aguas residuales utilizando reactor fotocatalítico impregnado con dióxido de titanio TiO_2 y UV – visible a una longitud de onda de 255 nm y se obtuvo una degradación de 46 % logrando una degradación casi representativa del contaminante.

RECOMENDACIONES

- Generar investigaciones acerca de los efectos sobre la salud de las personas así como los efectos cancerígenos y el resultado en el ambiente tomando en cuenta la contaminación de fenoles en aguas residuales en la industria hidrocarburífera ya que en contacto con el medio ingresa a la cadena trófica y hay muy poco o nada acerca de esta información.
- Al momento de armar el equipo completo para la degradación del fenol tomar en cuenta las medidas de seguridad correspondientes como guantes, gafas y mascarilla ya que se utilizan equipos delicados como la lámpara de UV – Visible, y compuestos muy tóxicos.
- Se debería realizar un estudio más complejo acerca de los compuestos intermedios generados en el tratamiento de oxidación del fenol ya que se desconoce su intervención y consecuencias al ser depositados en efluentes sin un previo tratamiento.
- Desarrollar la eficiencia de la degradación fotocatalítica del fenol ya que la principal preocupación es que es un compuesto altamente tóxico y es generado en procesos industriales y domésticos.
- Complementar estudios sobre diferentes catalizadores que se aplican en el proceso fotocatalítica para la determinación de su eficacia en la eliminación de compuestos tóxicos.
- Introducir al sistema de degradación del fenol un filtro de carbón activado con la finalidad de eliminar la turbidez que se produce en el tratamiento del fenol.
- En el tratamiento homogéneo es muy importante controlar el pH de la solución a tratar ya que si no es el adecuado el tratamiento no resulta efectivo y la degradación disminuye drásticamente

IBLIOGRAFÍA

1. **HERNANDEZ TORRES, Joseph.** Degradacion del Fenol y 2-Cloro fenol sobre varios catalizadores (Tesis). () Revista de la Sociedad de Quimica de Mexico 1998. pp. 25-28. [Consulta: 10 diciembre 2014]. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10807/PFC%20Alejandro%20Bautista%20Buhigas.pdf?sequence=1>
2. **ACERO, J.** *Oxidacion del cloro fenol y procesos foto quimicos* Murcia - España: Secretario de publicaciones, 2008. pp. 37-50.
3. *Procesos de oxidacion avanzada para remover compuestos organoclorados comopesticidas en aguas residuales* [en línea]. Argentina: G, Montaser, 1987. [Consulta: 22 septiembre 2014]. Disponible en: [http://www.PAOs-Fotocatalisis.com.ar/Fotoreactores/06-degradacion de contaminantes.pdf](http://www.PAOs-Fotocatalisis.com.ar/Fotoreactores/06-degradacion%20de%20contaminantes.pdf)
4. *Degradacion del cianuro: fotocatalisis heterogenea* [en línea]. Espana, 2007. [Consulta: 12 enero 2015]. Disponible en: <http://www.PAOs-methods.com.ar/fotocatalisis/11-cianuro.pdf>
5. *Guía de diseño y construccion de fotoreactores cataliticos solares para tratamiento de contaminantes persistentes.* [en línea]. España: J. Mopta, 1993. [Consulta: 27 marzo 2015]. Disponible en: [http://www.aguas residuales.com/teis doctoral/45.pdf](http://www.aguas%20residuales.com/teis%20doctoral/45.pdf) .
6. **CARRERA, C.** *Tratamiento de aguas residuales* . Madrid - España: Editex, 2001, pp. 95-107.

7. **Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente** [en línea]. Quito - Ecuador, 2013 [Consulta: 24 marzo 2015]. Disponible en: [http://es.scribd.com/doc/192760333/Manual-Para-Inspectores-Control- de- Efluentes- Industriales- Reforma.pdf](http://es.scribd.com/doc/192760333/Manual-Para-Inspectores-Control-de-Efluentes-Industriales-Reforma.pdf)

8. **FORTEA GORRAINZ, Diego.** *Estudio de la Degradación de Sustancias Peligrosas Presentes en Aguas de Salida de EDAR Mediante Tratamiento Fenton.* [en línea] (Tesis). (Pregrado) Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, España, 2010. pp. 29-31. [Consulta: 28 Abril 2015]. Disponible en: <http://dspace Universidad Zaragoza.ec/bitstream/123456789/3.pdf>

10. **AZNATE TEHERAN, Luis Alfredo.&.CERRO BASTIDAS,Onix Jose .** *Degradacion por fotocatalisis homogenea(foto-fenton)de efluentes liquidos contaminados con residuos de fenol*[en línea] (tesis). (Doctorado), Universidad de cartagena, Cartagena de Indias . 2013. pp. 34-41. [Consulta: 15 mayo 2015]. Disponible en: [http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5606/Juan%20Luis %20Aznate%20Orozco.pdf](http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5606/Juan%20Luis%20Aznate%20Orozco.pdf).

11. **Solucion a las aguas residuales** [en línea] Estados Unidos: B,Lenntech 1998. [Consulta: 20 de junio de 2014]. Disponible en: <http://lenntech.as.industria petroquimica.pdf>

12. **Plan Hidrológico de la Cuenca Sur de España** [en línea]. Mopta: A. Guevara, 1993. [Consulta: 20 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.españa.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

13. *Empleo de catalizadores magneticos en la oxidacion catalitica con peroxido de hidrogeno de contaminantes organicos no bio degradables presentes en aguasresiduales industriales* [En línea]. Madrid - España: Muñoz.M, 2013. [Consulta: 13 mayo 2014]. Disponible en: http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/pdf
14. **CABELLO BERDUN, Santiago Alberto.** *Degradacion fotocatalitica de fenol medianteTiO2 modificado con metales de transicion y sultato*[en línea] (tesis). (Doctorado) Universidad Malacitana , Malaga, España, 2000. pp. 58-69. [Consulta: 19 de mayo 2015]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1215>
15. **GARCES,LARA , Carlos Sebastián, & HIDALGO SANTAMARIA, Luis,Javier.** *La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de Aguas Residuales.. La Sallista de Investigacion.*Estado del Arte ,Esapaña. 2001. pp. 88-89. [Consulta: 14 junio 2015]. Disponible en: <http://estadodelarte.ec/sallista/123456789/1652/1/236T0056.pdf>
16. *Ley de Gestión Ambiental [en línea]*. Quito - Ecuador, 2004. [Consulta: 16 enero 2015]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
17. *Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. España: M. Gomez, 2000. 2da edicion [Consulta: 24 mayo 2014]. Disponible en: http://www.EDAR.org/sites/default/files//Fotocatalisis/POAs/libro_trtamientos.pdf
18. *Oxidacion Fotocatalitica del Fenol en aguas Industrianles* [En línea]. Mexico,Revista de la Sociedad Quimica de Maxico: [Consulta: 23 mayo 2015]. Disponible en: http://www.sustainableharvest.org/downloads/oxidacion_Digester_Environ_Spanish.pdf

19. ***Foocatalisis*** [en línea] Valledupar - Colombia, 2012 [Consulta: 19 Abril 2015].
Disponible en:
http://POAs.unad.edu.co/contenidos/358010/exe/leccin_29_fotocatalisis.html
20. ***Treatment of Bleaching Waters in the Paper Industry by Hidrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation.***[en línea]. Madrid -España, 1988 [Consulta: 17 febrero 2014].
Disponible en:
<http://vufind.uniovi.es/Record/oai%3Aadoaj.industry%3Aaeddfdd09fe54f9ea8faedf979a9e10a>
21. **ACERO CASTILLO, Julian Riquelme.** *Oxidation of chlorfenvinphos in ultrapure and natural waters by ozonation and photochemical processes*[en línea] (tesis). (Ingeniería) Universidad de Cataluña, 2009. pp. 9, 98-116. Disponible en:
<http://www.dspace.Cataluña.ec/handle/123456789/13521>
22. ***Tratamientos fotocatalíticos a las aguas residuales de la industria del papel*** [en línea]. Cuba: J. Guardado, 2007. [Consulta: 22 febrero 2015]. Disponible en:
http://www.ideassonline.org/public/pdf/CUBASOLAR_Disenoyconstrucciondeplantasfotocataliticas.pdf
23. **BELTRAN HEREDIA, Javier Isaac.** *Kinetics of the reaction between ozone and phenolic acids present in agro-industrial wastewater* [en línea] (tesis). (doctorado).Departamento de investigación de la Universidad de Antioquia pp. 22-28. [Consulta: 25 abril 2015]. Disponible en: <http://antioquia/environmental/123456789/3278/1/236T0087.pdf>
24. ***Procesos de oxidacion avanzada POAs para la purificacion de aguas industriales*** [en línea]. Ingenieria Quimica ,Universidad de Barcelona, 2001 [Consulta: 15 abril

2014].

Disponible

en:

<http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/407/32>.

ANEXOS

ANEXO A. Reactivos para el tratamiento fenton.



ANEXO B. Equipo de uv- visible para la obtención de curvas de calibración.



ANEXO C. Muestras de agua con las concentraciones respectivas de fenoles.



ANEXO D. Colocación del óxido de titanio dentro del foto reactor catalítico.



ANEXO E: Foto reactor con la lámpara de uv-visible preparada para el ingreso del flujo de muestra.



ANEXO F. Calibración del ph metro con una solución buffer para la medición de las muestras.



ANEXO G. Medición de ph de cada una de las muestras codificadas respectivamente.



ANEXO H. Equipo de flujo armado completamente para el tratamiento de fotocatalisis.



ANEXO I. Recipiente en donde se deposita el agua después de ser tratada.



ANEXO J. Elaboración de biofiltro con carbón activado



ANEXO K: Puntos de descarga refinería de Shushufindi



ANEXO L: Toma de muestras en la descarga refinería de Shushufindi



ANEXO M. Degradación del fenol del agua de la refinería contaminada con fenol



ANEXO N. Sistema completo de degradación



ANEXO O. Diferencia entre el agua contaminada y el agua tratada




ANEXO P.- Tratamiento foto-fento a ph 7.24



ANEXO Q. Tratamiento foto-fenton a ph 3



ANEXO R. Resultados de laboratorio

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	---

INFORME DE ENSAYO No: 754
ST: 270 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. David Colcha
Dirección: Cda. Juan Montalvo
Riobamba-Chimborazo

FECHA: 08 de Mayo del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/04/28 – 10:47
FECHA DE MUESTREO: 2015/04/28 – 11:20
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/04/28 – 2015/05/08
TIPO DE MUESTRA: Agua potable
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 483-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: N.A
PUNTO DE MUESTREO: ESPOCH Laboratorio de química general
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: David Colcha
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (●)
Fenoles	PEE/LABCESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	29,50	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO


 LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
 C/ESPOCH
 LAB - CESTTA
 RIOBAMBA



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN
(LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Teléfono: (03) 3013183**

INFORME DE ENSAYO No: 778
ST: 290 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. David Colcha
Dirección: Cda. Juan Montalvo
Riobamba-Chimborazo

FECHA: 18 de Mayo del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/05/06 – 17:00
FECHA DE MUESTREO: 2015/05/06 – 16:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/05/06 – 2015/05/18
TIPO DE MUESTRA: Agua potable
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 513-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: N.A
PUNTO DE MUESTREO: ESPOCH Laboratorio de química general
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: David Colcha
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Fenoles	PEE/LABCESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/l.	9,50	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
Riobamba - Ecuador

ANEXO S. Resultados de laboratorio del agua de la refinera

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No:	1000
ST:	363 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario:	NA
Atn.	David Colcha
Dirección:	Cdta. Juan Montalvo Riobamba-Chimborazo
FECHA:	19 de Junio del 2015
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2015/06/09 – 12:01
FECHA DE MUESTREO:	2015/05/28 – 15:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2015/06/09 – 2015/06/19
TIPO DE MUESTRA:	Agua residual
CÓDIGO LABCESTTA:	LAB-A 688-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	A2
PUNTO DE MUESTREO:	Refinería Shushufindi
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	David Colcha
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25,0 °C. T min.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Fenoles	PEE/LABCESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	0,100	-


OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

ANEXO T. Resultados de laboratorio después del tratamiento

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	---

INFORME DE ENSAYO No: 1000
ST: 363 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. David Colcha
Dirección: Cdla. Juan Montalvo
Riobamba-Chimborazo

FECHA: 19 de Junio del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/06/09 – 12:01
FECHA DE MUESTREO: 2015/05/28 – 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/06/09 – 2015/06/19
TIPO DE MUESTRA: Agua residual
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 689-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A3
PUNTO DE MUESTREO: Refinería Shushufindi
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: David Colcha
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (#)
Fenoles	PEE/LABCESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	0,054	-

OBSERVACIONES:


- Muestra receiptada en el laboratorio.

RESPONSABLE:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
SGC

ANEXO U. Resultados de laboratorio después del tratamiento fenton

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
	DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)
	Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No: 1000
ST: 363 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. David Colcha
Dirección: Cdla. Juan Montalvo
Riobamba-Chimborazo

FECHA: 19 de Junio del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/06/09 – 12:01
2015/05/28 – 15:00
FECHA DE MUESTREO: 2015/06/09 – 2015/06/19
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/06/09 – 2015/06/19
TIPO DE MUESTRA: Agua residual
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 687-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A1
PUNTO DE MUESTREO: Refinería Shushufindi
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: David Colcha
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C


RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Fenoles	PEE/LABCESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	0,043	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH