



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S): Ciencias Nucleares

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN: Procesos de Oxidación Avanzada

1 Proyecto de Investigación

Título: Estudio de la biodegradabilidad y la mineralización de los efluentes generados en la producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído, mediante procesos Fenton y Foto-Fenton modificados con agentes quelantes.

Resumen del proyecto:

En la industria, el proceso de obtención de las resinas alquídicas genera como subproducto agua y materias primas. También, en la obtención de las resinas urea-formaldehído, se genera como producto secundario, agua y materias primas no reaccionantes y volátiles. Debido a las elevadas temperaturas de operación, aumenta la carga orgánica contaminante, reflejada en elevados valores de DQO y COT, además de olores desagradables. Estos efluentes contienen compuestos recalcitrantes y tóxicos para la salud y el ambiente. Por esta razón, se plantea la aplicación de procesos de oxidación avanzada, que generan radicales $\bullet\text{OH}$, de alta capacidad oxidante de los contaminantes orgánicos. En este estudio, se aplicarán procesos Fenton y Foto-Fenton modificados con los agentes quelantes, ácido cítrico y ácido tartárico, para la reducción de la carga contaminante. En estos tratamientos, se variarán las concentraciones de ion ferroso, peróxido de hidrógeno y valores de pH, bajo una relación fija de ion ferroso: agente quelante; la variable de respuesta será el porcentaje de remoción de DQO, la relación de biodegradabilidad y concentración de fenoles; este último en los efluentes de resinas alquídicas. Por el mayor volumen de generación de los efluentes de resinas urea-formaldehído, se obtendrá del mejor tratamiento la variación de COT, una propuesta de diseño y estimación de costos.

Palabras clave (4-6): Fenton modificado, Foto-Fenton modificado, resinas alquídicas, resinas urea-formaldehído, agentes quelantes.

2 Datos personales y académicos del Director del Proyecto

Apellidos: Pérez Guamanzara	Teléfono casa: 02-3820472
Nombres: Jady Paulina	
Cédula de Identidad: 171110131-9	Teléfono celular: 0984259377
Cargo actual en la EPN: Profesor titular auxiliar (nivel 1, grado 1) a tiempo completo del Departamento de Ciencias Nucleares, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la EPN. Oficial de Protección Radiológica de la EPN	
Dirección particular: Manuela Sáenz E7-118 y Tacuri, Nayón	Teléfono oficina: 3938780/2976300 Ext. EPN: 2102 Correo electrónico: jady.perez@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

Formación de pregrado y posgrado		
Títulos	Fecha	Institución / Universidad/País
Ingeniera Química	14 de mayo de 1999	Escuela Politécnica Nacional / Ecuador
Magíster en Seguridad, Salud y Ambiente	21 de julio de 2004	Universidad Central del Ecuador / Ecuador

3 Datos personales y académicos del Profesor colaborador		
Apellidos: Villacís Oñate		Teléfono casa: 02-2598232
Nombres: William Estuardo		
Cédula de Identidad: 1714336565		Teléfono celular: 0999214604
Cargo actual en la EPN: Profesor titular auxiliar (nivel 1, grado 1) a tiempo completo del Departamento de Ciencias Nucleares, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la EPN. Oficial de Protección Radiológica de la EPN		
Dirección particular: Rumiñahui, De las Dalias Oe 3-20 y De los Cafetos / Quito		Teléfono oficina: 0222976300 Ext. EPN: 2103 Correo electrónico: william.villacis@epn.edu.ec
Formación de pregrado y posgrado		
Títulos	Fecha	Institución / Universidad
Ingeniero Químico	14 de septiembre de 2004	Escuela Politécnica Nacional/Ecuador
Magíster en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional	13 de junio de 2013	Escuela Politécnica Nacional/Ecuador

4 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación
<p>4.1 Objetivos</p> <p>4.1.1 Objetivo General</p> <p>Estudiar la biodegradabilidad y la mineralización de los efluentes generados en la producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído, de una fábrica de pinturas, mediante procesos Fenton y Foto-Fenton modificados con ácido cítrico y ácido tartárico.</p> <p>4.1.2 Objetivos Específicos</p> <ol style="list-style-type: none">Caracterizar físico-químicamente los efluentes procedentes de la producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído.Determinar las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno, en el proceso Fenton modificado con los agentes quelantes, ácido cítrico y ácido tartárico, aplicado a los efluentes de resinas alquídicas.Determinar las concentraciones de ion ferroso, peróxido de hidrógeno y el valor de pH en el proceso Fenton modificado con ácido cítrico, aplicado a los efluentes de resinas urea-formaldehído.Determinar las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno en el proceso Fenton modificado con ácido tartárico, aplicado a los efluentes de resinas urea-formaldehído.Analizar el efecto de la luz UV sobre los procesos Foto-Fenton modificados en los efluentes de resinas urea-formaldehído.Evaluar los grados de biodegradabilidad y mineralización alcanzados con las mejores condiciones de los tratamientos aplicados a los efluentes de producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído.



- g. Diseñar una planta de tratamiento con el mejor proceso Fenton modificado, determinado experimentalmente para el efluente de la producción de la resina urea-formaldehído, con la estimación de los costos de implementación.

4.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.

De la producción de resinas alquídicas y poliésteres, se desprenden cantidades importantes de fracciones volátiles, formadas por las materias primas sin reaccionar, que se disuelven en las aguas extraídas del proceso de esterificación o de lavado de los tanques. Por tal razón, estas aguas contienen variedad de contaminantes, entre ellos: glicoles, ácidos y solventes en menores cantidades (EPA, 1975, pp. 94, 98).

Entre los vertidos más importantes de la producción de resinas de urea están el agua introducida con la materia prima y la formada en el proceso de condensación (Nemerow y Dasgupta, 1998, pp. 600-602).

Por otro lado, en el proceso de fabricación de estas resinas, los efluentes generados del proceso de polimerización presentan niveles de DBO₅ y DQO que van desde 200 000 hasta 400 000 ppm. Estas concentraciones alteran el funcionamiento biológico convencional de una planta de tratamiento clásica, la misma que se vería afectada por el carácter tóxico y recalcitrante de los compuestos presentes; tales como fenoles y formaldehído, los mismos que al ser descargados directamente en cuerpos de agua causarían severos daños a la vida del ser humano y de la flora y fauna aledañas. Por esta razón es muy común que, en la industria, las aguas de lavado sean descargadas en los botaderos o, a su vez, sean enviadas a un proceso de incineración (EPA, 1975, p. 97; Lai, Zhou, Yang y Wang, 2012, p. 162).

Como se mencionó en el párrafo anterior, la biodegradabilidad de estas aguas es mínima y no cumplen con la normativa ambiental, por lo que la empresa ha tomado como solución la incineración de las mismas; sin embargo, según Domenech, Jardim y Litter (2004, p. 4), este tipo de gestión ambiental requiere demasiada energía. Por eso, otra propuesta de la empresa interesada es la recirculación de estas aguas al proceso productivo. Aunque el agua de reacción ya ha sido probada en el proceso de fabricación de pinturas con buenos resultados, el producto final contiene un olor desagradable, de ahí que se requiere realizar tratamientos que, a más de disminuir los contaminantes, permitan la remoción de olor de los efluentes, sin que se necesite alcanzar el valor de DQO normado, puesto que con la recirculación se eliminarían los efluentes.

Actualmente, cerca del 33% de la población mundial sufre escasez de agua y, según datos de la ONU, dentro de 25 años esta cifra podría duplicarse por la expansión de las actividades industriales, el crecimiento demográfico y la alteración del ciclo hidrológico mundial por el cambio climático. Por esta razón, es evidente que para preservar este bien renovable a futuro, se deban desarrollar técnicas que permitan la gestión de los efluentes industriales para la reutilización de agua en los procesos productivos de manera que se elimine en la industria el uso de agua destinada para el consumo humano, pues el agua limpia y de calidad es esencial para la supervivencia de los organismos vivos y el funcionamiento inalterado de los ecosistemas (ONU, 2007, p. 20; ONU, 2010, p. 1).

En el presente proyecto, se han planteado algunas propuestas para el tratamiento de estos efluentes que permita la degradación de los contaminantes o, caso contrario, su recirculación al proceso productivo. Entre las propuestas se han considerado principalmente los procesos de oxidación avanzada (POA's), que son aquellos que permiten la generación de radicales hidroxilo, los mismos que, por su elevada capacidad oxidante, degradan los compuestos orgánicos (Pliego, 2012, p. 13).

Los POA's pueden ser usados en tratamientos de aguas residuales para la reducción del contenido orgánico en general, la destrucción específica de contaminantes, el tratamiento de lodos, el aumento de la biodisponibilidad de los compuestos orgánicos recalcitrantes y la remoción de color y olor (Bergendahl y O'Shaughnessy, 2004, p. 1).

Un POA efectivo, es el proceso Fenton, en el que una sal de hierro (II), en presencia de peróxido de hidrógeno, permite la oxidación de contaminantes orgánicos, gracias a la generación de los radicales hidroxílicos altamente reactivos y radicales provenientes de la materia orgánica, que pueden continuar la



reacción con los iones ferrosos formados durante el proceso o entre sí, de modo que da lugar a más radicales libres e iones férricos, que regeneran el catalizador (Rodríguez, Casas, Mohedano, Zazo, Pliego y Blasco, 2010, p. 6).

La composición de las aguas procedentes de la reacción de obtención de las resinas es compleja, por la presencia de diferentes compuestos orgánicos, capaces de formar foto-complejos estables con Fe^{3+} . Los complejos con Fe^{2+} son más eficientes en la eliminación de olores (Oliveira, Viana, Verona, Vargas, Nunes Azevedo y Pires, 2007, p. 566).

El pH de la reacción tiene una gran influencia sobre el proceso, ya que está relacionado con el estado de oxidación en el que se encuentra el catalizador y, por lo tanto, con la generación de radicales. El pH establecido como óptimo para este proceso es de 2,8; pues a valores de pH mayores a 3, el ion férrico precipita como hidróxido férrico, que descompone el peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua; a valores de pH menores a 3, existe la generación de complejos de hierro que obstaculizan la formación de los radicales hidroxílicos (Rodríguez et al., 2010, p. 7).

Las dosis de catalizador (ion ferroso) y peróxido de hidrógeno utilizadas están relacionadas entre sí y son de gran importancia, ya que un aumento en la dosis de catalizador implica un aumento en la velocidad de descomposición de la materia orgánica; mientras que, un aumento de peróxido de hidrógeno incrementará el grado de mineralización; sin embargo, se debe tener en cuenta que un exceso de catalizador o de radicales libres, generan una serie de reacciones competitivas en las cuales los radicales hidroxílicos no reaccionan con la materia orgánica (Pliego, 2012, p. 17).

Los procesos Fenton para la degradación de contaminantes orgánicos en aguas residuales son viables y pueden ser aplicados a algunos sectores industriales; un elevado valor de DQO en las aguas ha dado lugar al planteamiento de la mejora del proceso Fenton, con ayuda de radiación UV-visible, que permite incrementar la generación de radicales hidroxílicos (Molina, Martínez, Segura, Melero y Pariente, 2010, p.20; Oliveira et al., 2007, p. 566).

Dado que las aguas provenientes de la reacción de obtención de resinas presentan bajos niveles de pH (2,5-4,5), resultarían muy corrosivas para los reactores de producción de la empresa y del proceso Fenton, de ahí que el proceso Fenton puede ser modificado, con la presencia de un agente quelante para la sal de hierro, el cual permita trabajar a condiciones cercanas al pH neutro (6,0-8,5), lo que permitiría disminuir la corrosividad de estos efluentes (Li, Li, Li, Yuan y Wei, 2015, p. 2).

A pesar de que el proceso Fenton proporciona puntuaciones aceptables para la degradación del contaminante en soluciones ácidas, un gran número de trabajos recientes han empleado varios ligandos orgánicos tales como EDTA, EDDS, oxalato, NTA, carboximetil b-ciclodextrina (CMCD), tartrato, citrato y succinato, para mejorar su eficiencia y para aumentar la velocidad de oxidación de las moléculas de prueba (Xue, Hanna, Despas, Wu y Deng, 2009, p. 25).

En este proyecto, relacionado con la línea de investigación de procesos de oxidación avanzada, se propone el uso de ácido cítrico y ácido tartárico como agentes quelantes, ya que son biodegradables y, cuando se inyectan en sistemas subterráneos, podrían contribuir como nutrientes de microorganismos, que participan en la biodegradación de los contaminantes. Los agentes quelantes tienen una fuerte capacidad para ligar iones metálicos y mantenerlos en solución a valores de pH donde de otro modo estos metales precipitarían (De Luca, Dantas y Esplugas, 2014, p. 233; Li et al., 2005, p. 2).

4.3 Productos esperados

- a. Publicaciones científicas (obligatorio); ✓
- b. Disertación a la Comunidad Politécnica; ✓
- c. Proyecto de Titulación; ✓
- d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);
- e. Aplicación tecnológica construida o implementada;
- f. Patente presentada;
- g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.



4.4 Detalle de los resultados esperados

- a. Gráficos de control de DQO y compuestos fenólicos de las muestras compuestas del efluente.
- b. Características físico-químicas de tres muestras representativas del efluente a través de los parámetros: pH, temperatura, DQO, DBO₅, COT y compuestos fenólicos.
- c. Concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno que permitan obtener la mayor remoción de la DQO en los efluentes de la producción de resinas alquídicas, para el proceso Fenton modificado con los agentes quelantes, ácido cítrico y ácido tartárico.
- d. Concentraciones de ion ferroso, peróxido de hidrógeno y valor de pH que permitan obtener la mayor remoción de la DQO en los efluentes de la producción de resinas urea-formaldehído, para el proceso Fenton modificado con ácido cítrico.
- e. Concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno que permitan obtener la mayor remoción de la DQO en los efluentes de la producción de resinas urea-formaldehído, para el proceso Fenton modificado con ácido tartárico.
- f. Porcentajes de remoción de DQO y grado de mayor biodegradabilidad en los efluentes de producción de resinas urea-formaldehído, obtenidos con los mejores tratamientos aplicados bajo el efecto de la luz UV.
- g. Porcentajes de remoción de DQO y compuestos fenólicos, y grado de mayor biodegradabilidad de los efluentes de la producción de resinas alquídicas, obtenidos en los tratamientos Fenton modificados con ácido cítrico y tartárico respectivamente.
- h. Porcentajes de remoción de DQO y grado de mayor biodegradabilidad de los efluentes de producción de resinas urea-formaldehído, obtenidos en los tratamientos Fenton modificados con ácido cítrico y tartárico respectivamente.
- i. Variación del COT con el tiempo del mejor tratamiento aplicado a los efluentes de la producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído.
- j. Diseño de una planta de tratamiento del efluente de la producción de la resina urea-formaldehído y estimación de los costos de implementación, con el mejor proceso Fenton modificado determinado experimentalmente.

5 Descripción, metodología y cronograma de trabajo

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto

5.1.1 Descripción

Se realizarán los gráficos de control de DQO y compuestos fenólicos de las muestras compuestas del efluente del proceso de producción de resinas alquídicas y gráficos de control de DQO, para las muestras compuestas del efluente del proceso de producción de resinas urea-formaldehído.

Se caracterizarán físico-químicamente muestras representativas de los efluentes del proceso de producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído, mediante el análisis de pH, temperatura, DQO, DBO₅, COT y compuestos fenólicos (sólo para el efluente de producción de resinas alquídicas).

Se establecerán las concentraciones de reactivos necesarios y valor de pH, en los procesos Fenton y Foto-Fenton modificados con agentes quelantes.



Se determinarán los niveles de biodegradabilidad y mineralización de los efluentes de la producción de resinas tratados.

Se diseñará una planta de tratamiento del efluente de la producción de la resina urea-formaldehído con el mejor proceso Fenton modificado determinado experimentalmente y se analizarán sus costos preliminares de implementación.

5.1.2 Metodología y diseño del proyecto

Caracterización físico-química de los efluentes procedentes de la producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído

Se realizará un muestreo compuesto, de acuerdo con lo indicado en la norma NTE INEN 2176:2013 y en la Resolución No. 002-SA-2014, que contiene la norma técnica para el Distrito Metropolitano de Quito, para descargas discontinuas. El transporte de las muestras se realizará de acuerdo con las indicaciones de la norma NTE INEN 2169:2013 (INEN, 2013a; Secretaría de Ambiente DMQ, 2014).

Se llevará a cabo la caracterización físico-química de las muestras compuestas representativas de aguas de reacción, con base en los gráficos de control realizados de acuerdo con la norma NTE INEN 2176:2013 (INEN, 2013b); mediante, la medición de los parámetros: pH, temperatura, DQO, COT, DBO₅ y compuestos fenólicos. Los valores de pH y temperatura, serán medidos "in situ" y los restantes análisis físico-químicos de las muestras se efectuarán en el Laboratorio de Aguas y Microbiología de la Escuela Politécnica Nacional. Los métodos utilizados en cada caso seguirán la normativa APHA, AWWA, WEF (APHA, AWWA, WEF, 2005).

Determinación de las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno en el proceso Fenton modificado con los agentes quelantes, ácido cítrico y ácido tartárico, aplicado a los efluentes de resinas alquídicas

Los efluentes de la producción de resinas alquídicas serán tratados mediante los procesos Fenton modificado con ácido cítrico y ácido tartárico a un valor de pH dentro del rango de 3 a 5, los mismos que se realizarán en un sistema discontinuo. Las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno se determinarán con un diseño experimental 2², para cada agente quelante, donde se probarán dos valores de concentración de los reactivos antes mencionados, bajo una relación molar ion ferroso: agente quelante de 1:1 (De Luca, Dantas y Esplugas, 2014, p. 235; Katsumata et al., 2006, pp. 38-45). El rango de experimentación de las concentraciones de reactivos se definirá en ensayos preliminares con base en anteriores estudios del proceso Fenton convencional en efluentes de la producción de resinas alquídicas, donde se alcanzó el 75 % de remoción de DQO y el 65 % de remoción de COT con 15,15 mM de ion ferroso y 300 mM de peróxido de hidrógeno (De Luca, Dantas y Esplugas, 2014, pp. 234-239; Oliveira et al., 2007, p. 567; Silva, Trovó y Nogueira, 2007, p. 187). La variable de respuesta será el porcentaje de disminución de DQO en los efluentes tratados. Se seleccionará la combinación de las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno que obtenga la mayor disminución de la DQO del efluente tratado.

Determinación de las concentraciones de ion ferroso, peróxido de hidrógeno y el valor de pH en el proceso Fenton modificado con ácido cítrico, aplicado a los efluentes de resinas urea-formaldehído

En el tratamiento Fenton modificado con ácido cítrico, las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno serán determinadas en sistemas discontinuos con un diseño experimental 3²; se utilizarán 3 concentraciones de sulfato ferroso heptahidratado con un rango entre 0,30 mM y 3,5 mM, así como 3 concentraciones de peróxido de hidrógeno, cuyo rango estará entre 35 mM y 300 mM. Estos valores fueron elegidos debido a su empleo en pruebas preliminares y en trabajos anteriores en efluentes de similar naturaleza bajo procesos Fenton convencional y Foto-Fenton, que permitieron obtener remociones de DQO y TOC de alrededor del 80 % (Gil Pavas y Rojas, 2010, pp. 226-227; Oliveira et al., 2007, p. 567; Kowalik, 2011, p. 45). La relación molar ion ferroso: ácido cítrico a utilizarse será de



1:1, proporción seleccionada debido a que según la investigación bibliográfica realizada, esta relación entrega resultados más eficientes de remoción de contaminantes (Xue et al., 2009, p. 25; Lewis, Lynch, Bachas, Hampson, Ormsbee y Battacharyya, 2009, p. 853).

Con base en las mejores concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógenos obtenidas, se efectuará la determinación del mejor pH, para lo cual se realizará un modelo experimental completamente al azar entre valores de pH de 2,8 y 7 (Xue et al., 2009, p. 25; Li et al, p. 2). Cada tratamiento se realizará por duplicado con el porcentaje de remoción de la DQO como variable de respuesta.

Determinación de las concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno en el proceso Fenton modificado con ácido tartárico, aplicado a los efluentes de resinas urea-formaldehído

Debido a la inexistencia de fuentes bibliográficas específicas sobre los efluentes generados en la producción de resinas urea- formaldehído, se considerará únicamente como referencia la información recopilada sobre el procesamiento de efluentes con similar carga contaminante, donde las concentraciones de 0,30 mM de ion ferroso y 85 mM de peróxido de hidrógeno permitieron valores de remoción de la DQO sobre el 80 % y de COT superiores al 90 % (Hincapié, 2011, p. 37). De esta forma y con conocimiento de la variación de la DQO inicial en los efluentes a tratar, en pruebas preliminares del tratamiento Fenton modificado con ácido tartárico se determinarán dos valores de DQO inicial, concentraciones de ion ferroso y peróxido de hidrógeno, con un diseño experimental 2³ en sistemas discontinuos; donde se aplicará una relación molar ion ferroso: agente quelante de 1:5 que otorga altas eficiencia de remoción (De Luca, Dantas y Esplugas, 2014, p. 240). Cada ensayo se realizará por duplicado y tendrá como variable de respuesta el porcentaje de remoción de DQO.

Análisis del efecto de la luz UV sobre los procesos Foto-Fenton modificados con agentes quelantes en los efluentes de resinas urea-formaldehído

Con las mejores condiciones de concentración y pH obtenidas en el proceso Fenton modificado con ácido cítrico, se llevará a cabo el proceso Foto-Fenton modificado, para lo cual se utilizarán cajas Petri, con sistemas de agitación y enfriamiento. Las muestras serán iluminadas desde la parte superior por lámparas de luz UV de baja presión de 15 W y 253,7 nm (Fonseca, Nogueira y Marchi, 2010, p. 26; Oliveira et al., 2007, p. 567).

Con base en las concentraciones que permitan la mayor remoción de DQO en el proceso Fenton modificado con ácido tartárico, se aplicará el proceso Foto-Fenton modificado, para lo cual las pruebas serán desarrolladas en cajas Petri y las muestras serán irradiadas con luz UV de baja presión (15 W germicida y longitud de onda 253,7 nm). En cada ensayo la muestra tendrá agitación constante y un sistema de enfriamiento. Se tomarán alícuotas a diferentes tiempos y se medirá la DQO para determinar el tiempo adecuado de exposición, que permita la mayor remoción de DQO y la mayor mineralización expresada mediante el COT (Hincapié, 2011, p. 36).

Evaluación de los grados de biodegradabilidad y mineralización alcanzados con las mejores condiciones de los tratamientos aplicados a los efluentes de la producción de resinas alquídicas y urea-formaldehído.

Se realizarán los tratamientos de los efluentes de la producción de resinas alquídicas mediante Fenton modificado con los ácidos cítrico y tartárico, con las mejores concentraciones determinadas experimentalmente. El diseño experimental será completamente al azar, donde las variables serán los tratamientos aplicados. Se elegirá el mejor tratamiento de acuerdo con los porcentajes de remoción de DQO y compuestos fenólicos, así como la biodegradabilidad de los efluentes tratados. Se evaluará la variación del COT con el tiempo, del mejor tratamiento.

Asimismo se aplicarán los tratamientos Fenton y Foto-Fenton modificados con ácido cítrico y ácido tartárico respectivamente, sobre los efluentes de producción de resinas urea-formaldehído, con las mejores concentraciones de reactivos y nivel de pH determinados previamente. La elección del mejor tratamiento se realizará con un diseño experimental completamente al azar, con los dos tipos de



tratamiento como variables de entrada y; el porcentaje de remoción de DQO, los grados de biodegradabilidad y mineralización alcanzados, como variables de respuesta.

Finalmente se caracterizarán los respectivos efluentes tratados con las mejores condiciones y se determinarán los siguientes parámetros: pH, DQO, DBO₅, COT y compuestos fenólicos (sólo para el efluente de producción de resinas alquídicas), para determinar los porcentajes de remoción de los contaminantes y los grados de biodegradabilidad logrados.

Diseño de una planta de tratamiento del efluente de producción de la resina urea- formaldehído y estimación de los costos de implementación, con el mejor proceso Fenton modificado determinado experimentalmente

Se diseñará la planta de tratamiento del efluente de producción de resinas urea-formaldehído con base en las mejores condiciones obtenidas en el proceso Fenton modificado y finalmente se realizará la estimación preliminar de los costos de implementación de la planta de tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington D.C., Estados Unidos de América.
2. Bergendahl, J. y O'Shaughnessy, J. (2004). Applications of Advanced Oxidation for Wastewater Treatment. International Business and Education Conference "A Focus on Water Management", Worcester Polytechnic Institute, Recuperado de: <http://www.wpi.edu/Images/CMS/NEABC/wastewatersummary.pdf> (Octubre, 2015)
3. De Luca A., Dantas R. y Esplugas S. (2014). Assessment of iron chelates efficiency for photo.fenton at pH neutral. *Science Direct, Water Research*, 61, 232-242. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.033>
4. Domenech X., Jardim W., Litter M. (2004). Tecnologías avanzadas de oxidación para la eliminación de contaminantes, *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*, Texto colectivo elaborado por la Red CYTED VIII-G, Blesa M.A. y Sánchez Cabrero B., Editores, Ediciones CIEMAT, Madrid.
5. EPA. (1975). Segment of Plastics and Syntetic Materials Manufacturing, Point Source Category. *Development Document for Effluent Limitacion Guidelines and New Source Performance Standards for Syntetic Polymers*. Recuperado de <http://goo.gl/p6bCP3> (Noviembre, 2015)
6. Fonseca, R., Noguiera, J. y Marchi M. (2010). Photo-Fenton process for treating biological laboratory wastewater containing formaldehyde. *Eclética Química*, 35(1) ,25-33. doi: 10.1590/S0100.
7. Gan, S. y Ng, H. K. (2011) Modified Fenton oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soils and the potential of bioremediation as post-treatment. *Science of the Total Environment*, 419, 240-249. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.12.053
8. Gil Pavas, E. y Rojas, V. (2010). Optimización de las condiciones de operación para el tratamiento de aguas residuales de resinas alquídicas mediante proceso Foto-Fenton. Cuaderno de Investigación de la Universidad EAFIT, 83, 225-226. Recuperado de <http://www.eafit.edu.co/investigacion/produccion-investigativa/ingenieria/Procesos%20ambientales%20y%20biotecnol%C3%B3gicos%202010.pdf> (Noviembre, 2015)
9. Hincapié, G., Ocampo, D., Restrepo, G. y Marín, J. (2011). Fotocatalisis Heterogénea y Foto-Fenton aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel. *Scielo* 22 (2). 33-42. doi: 10.4067/S0718-07642011000200005



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

10. Katsumata, H., Kaneco, S., Suzuki, T., Ohta, K. y Yobiko, Y. (2006). Photo-fenton degradation of alachlor in the presence of citrate solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry*. 18. 38-45. doi:10.1016/j.jphotochem.2005.09.013
11. Kowalik, P. (2011). Chemical pretreatment of formaldehyde wastewater by selected Advanced Oxidation Processes (AOPs). *Challenges of Modern Technology*, 2(4)
12. Lai, B., Zhou, Y., Yang, P., & Wang, K. (2012). Comprehensive analysis of the toxic and refractory pollutants in acrylonitrile-butadiene-styrene resin manufacturing wastewater by gas chromatography spectrometry with a mass or flame ionization detector. *Journal of Chromatography A*, 1244, 161-167. doi:10.1016/j.chroma.2012.04.058
13. Lewis, S., Lynch, A., Bachas, L., Hampson, S., Ormsbee, L., y Bhattacharyya, D. (2009). Chelate-modified Fenton reaction for the degradation of trichloroethylene in aqueous and two-phase systems. *Environmental engineering science*, 26(4), 849-859. doi:10.1089/ees.2008.0277.
14. Li, Y., Li, F., Li, F., Yuan, F. y Wei, P. (2015). Effect of the ultrasound- Fenton oxidation process, with the addition of a quelating agent on the removal of petroleum-based contaminants from soil. *Environmental Science Pollution Research*, 1, 1-10. doi: 10.1007/s11356-015-5137-8
15. Li, YC., Bachas, L., y Bathacharyya D. (2005). Kinetics Studies of Trichlorophenol Destruction by Chelate-Based Fenton Reaction. *Environmental Engineering Science*, 22(6). doi:10.1089/ees.2005.22.756
16. Molina, R., Martínez, F., Segura, Y., Melero, J., y Pariente, M. (2010). Tratamientos de contaminantes farmacéuticos emergentes mediante Foto-Fenton. *Tratamientos de aguas residuales para su reutilización*, 1(1),21. Recuperado de: http://www.consolider-tragua.com/documentos/Tecnologias_tratamiento_agua.pdf (Noviembre, 2015)
17. Nemerow, N. y Dasgupta, A. (1998) Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Ediciones Diaz de Santos. Madrid.
18. Oliveira, I., Viana, C., Verona, C., Vargas, L., Nunes Azevedo, F. y Pires, M. (2007). Alkydic Resins Wastewaters by Fenton and Foto-Fenton Processes. *Journal of Hazardous Materials*, 146, 564-568. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.04.057
19. ONU. (2007). *Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century*. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/docs/escarcity.pdf> (Octubre,2015)
20. ONU. (2010). *UN- Water Statement on Water Quality*. Recuperado de http://www.unwater.org/downloads/unw_wwd_statement1.pdf (Diciembre, 2015)
21. Pliego, G., Rodríguez J., Casas, J., y Zazo, J. (2010). Case study of the application of Fenton process to highly polluted wastewater from power plant. *Journal of Hazardous Materials*, 252,180-185. doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.02.042
22. Rodríguez J., Casas, J., Mohedano, A., Zazo, J., Pliego, G., y Blasco, S. (2010) Aplicación del proceso Fenton a la depuración de efluentes industriales. *Tratamientos de aguas residuales para su reutilización*, 1(1), 21. Recuperado de: http://www.consolider-tragua.com/documentos/Tecnologias_tratamiento_agua.pdf (Noviembre, 2015)
23. Rodrigues de Souza, D., Mendonca Duarte, E., De Souza Girardi, G., Velani, V., Da Hora, A., Sattler, C., De Oliveira, L. y De Miranda, J. (2005). Study of kinetic parameters related to the degradation of an industrial effluent using Fenton- like reactions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 179 (2006). 269- 275. doi: 10.1016/j.jphotochem.2005.08.025



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

24. Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Resolución N° 0002-SA-2014*. Recuperado de http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf (Noviembre, 2015)
25. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (INEN). (2013a). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras*. Recuperado de http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/21_69-1.pdf (Noviembre, 2015)
26. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (INEN). (2013b). *Agua. Calidad del agua Técnicas de muestreo*. Recuperado de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2176-1.pdf> (Noviembre, 2015)
27. Silva, M., Trovó, A. y Nogueira, R. (2007). Degradation of herbicide terbuthiuron using solar photo-Fenton process and ferric citrate complex at circumneutral pH. *Journal of Photochemistry and photobiology A: Chemistry*, 191, 187-192. Doi:10.1016/j.jphotochem.2007.04.022
28. Tarr, M. A. (2003). Fenton and modified Fenton methods for pollutant degradation. *Chemical degradation methods for wastes and pollutants: environmental and industrial applications*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc. Recuperado de http://sompiseth.weebly.com/uploads/4/8/4/8/4848831/7164184-fenton_and_modified_fenton.pdf (Noviembre, 2015)
29. Walter, K. (2013) *The use of fenton chemistry for reducing the refining energy during tmp production – the effect of free ferrous and free or chelated ferric ions*, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Sundsvall, Mittuniversitetet, Sundsvall, Sweden.
30. Xue, X., Hanna, K., Despas, C., Wu, F. y Deng, N. (2009). Effect of chelating agent on the oxidation rate of PCP in the magnetite/H₂O₂ system at neutral pH. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 311(1), 29-35. doi: 10.1016/j.molcata.2009.06.016



6	Fechas de inicio y fin	
	Inicia: 24-05-2016	
	Termina: 24-05-2017	


7	Infraestructura, equipos y fondos adicionales.	
	7.1 Infraestructura y equipos <ul style="list-style-type: none">- Espectrofotómetro HACH- pHmetro- Balanza analítica- Estufa- Sensor de DBO₅- Bomba de vacío- Medidor de COT- Agitadores magnéticos- Digestor para DQO- Material de vidrio de laboratorio- Lámparas tubulares de luz UV de baja presión (15 W germicida).	
	7.2 Breve justificación del equipo requerido <p>Los equipos requeridos serán utilizados en el proceso de análisis de las muestras de efluente mediante los parámetros: pH, DQO, DBO₅, COT y compuestos fenólicos. Además los equipos mencionados permitirán llevar a cabo los ensayos de Fenton y Foto-Fenton modificados.</p>	

	7.3 Fondos Adicionales <p>La empresa beneficiada con este proyecto de investigación proporciona lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none">- 300 viales de alto rango para medición de DQO- 4 lámparas de luz UV de baja presión (15 W germicidas).- Inhibidor de bacterias nitrificantes, fórmula 2533, marca HACH (35 g). <p>Los reactivos y materiales de laboratorio citados a continuación, serán provistos por el Departamento de Ciencias Nucleares.</p> <ul style="list-style-type: none">- Papel filtro 47 mm de diámetro 0,45 um poro (150 u)- Viales de DQO rango alto, 750- Peróxido de hidrógeno 30 %, p/ p, 3 L- Sulfato ferroso, 1500 g- Ácido cítrico, 1000 g- Reactivo fenol 1, 200 unidades- Reactivo fenol 2, 200 unidades- Solución buffer hardness 1, frasco de 500 ml- Cloroformo, 2,5 L- Ácido tartárico, 1000 g- Inhibidor de bacterias nitrificantes, 35 g- Agitadores magnéticos, 25x8 mm, 10	
--	--	--



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

8	<p>Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)</p> <ul style="list-style-type: none">- Los costos para la elaboración del presupuesto estimado no deben incluir IVA.- Las maquinarias y equipos deberán tener una proforma local con un representante autorizado en el país.- En el caso de PIMI, se deberá aclarar en cual departamento permanecerán las maquinarias y equipos <p align="center"><u>Primer Año</u></p> <table border="1"><thead><tr><th align="center">Lista de ítems</th><th align="center">Cantidad solicitada (US \$)</th><th align="center">Porcentaje de Ejecución (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1. Contratación Servicios Personales por Contrato</td><td align="center">0,00</td><td></td></tr><tr><td align="right">Subtotal</td><td align="center">0,00</td><td></td></tr><tr><td>- Maquinaria Equipos</td><td></td><td></td></tr><tr><td align="right">Subtotal</td><td align="center">0,00</td><td></td></tr><tr><td>2. Reactivos y materiales de laboratorio</td><td></td><td></td></tr><tr><td align="right">Subtotal</td><td align="center">0,00</td><td></td></tr><tr><td align="center">TOTAL PRESUPUESTO</td><td align="center">0,00 + IVA</td><td align="center">100</td></tr></tbody></table>	Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje de Ejecución (%)	1. Contratación Servicios Personales por Contrato	0,00		Subtotal	0,00		- Maquinaria Equipos			Subtotal	0,00		2. Reactivos y materiales de laboratorio			Subtotal	0,00		TOTAL PRESUPUESTO	0,00 + IVA	100
Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje de Ejecución (%)																							
1. Contratación Servicios Personales por Contrato	0,00																								
Subtotal	0,00																								
- Maquinaria Equipos																									
Subtotal	0,00																								
2. Reactivos y materiales de laboratorio																									
Subtotal	0,00																								
TOTAL PRESUPUESTO	0,00 + IVA	100																							

9	<p>Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto</p> <p align="center">Quito, 24 de mayo de 2016</p> <p>Nombre: Jady Paulina Pérez Guamanzara CC: 171110131-9</p>	 <p>Firma del Director</p>
----------	--	--

DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO
<p>Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento/Instituto <u>P.C.N.</u>..... al que pertenece el Director del Proyecto, en Sesión del <u>24/05/2016</u> mediante Resolución No. <u>31-16</u>... y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.</p> <p align="center"> JEFE DEL DEPARTAMENTO/INSTITUTO Nombre: Dra. Florinella Muñoz Bisesti CC: 170458202-0</p> <p align="right">Quito, 12 de julio de 2016. Lugar y fecha</p>