



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): DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NUCLEARES

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN: PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA

1 Proyecto de Investigación

Título:

Estudio de la degradación de colorantes y tensoactivos de un efluente industrial mediante la aplicación de ozonificación solo y combinado con peróxido de hidrógeno y un proceso foto-Fenton modificado con un agente quelante.

Resumen del proyecto

El presente proyecto plantea la aplicación de dos procesos independientes de oxidación avanzada como son ozonificación en modalidad "batch" y el proceso foto-Fenton modificado con un agente quelante, para degradar colorantes y tensoactivos presentes en un efluente de la empresa Danec S. A. Para esto, se determinarán las mejores condiciones de operación de cada propuesta, que permitan la mayor remoción de contaminantes. La ozonificación empleará el efluente pre-tratado mediante precipitación salina. Las variables de estudio para esta alternativa serán: el pH, la concentración de peróxido de hidrógeno y la dosis de ozono. Por otro lado, el proceso foto-Fenton se efectuará con el efluente clarificado procedente de un pre-tratamiento por sedimentación. Los factores de diseño analizados serán: la concentración de sulfato ferroso heptahidratado, el tipo de agente quelante y el pH. De esta manera, será posible establecer las condiciones más favorables para el tratamiento que alcance la mayor remoción de contaminantes. Finalmente, se realizará el diseño de la planta de tratamiento y el análisis económico, para cada alternativa.

Palabras clave (4-6): Procesos de oxidación avanzada, ozonificación, foto-Fenton, colorantes, tensoactivos, agente quelante.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

2 Datos personales y académicos del Director del Proyecto		
Apellidos: Pérez Guamanzara	Teléfono casa: 3820472	
Nombres: Jady Paulina		
Cédula de Identidad: 171110131-9	Teléfono celular: 0984259377	
Cargo actual en la EPN: Profesor Titular		
Dirección particular: Manuela Sáenz E7-118 y Tacuri, Nayón	Teléfono oficina: 3938780/2976300 Ext. EPN: 2102 Correo electrónico: jady.perez@epn.edu.ec	
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: Muñoz Bisesti	Teléfono casa: 2530896	
Nombres: Florinella		
Lugar y fecha de nacimiento: 4 de marzo de 1967	Teléfono celular: 0984170819	
Cargo actual en la EPN:		
Dirección particular: El Rosario, Quitumbe N59-176	Teléfono oficina: 2976300 Ext. EPN: 4202 Correo electrónico: florinella.munoz@epn.edu.ec	
Formación de pregrado y posgrado		
Títulos	Fecha	Institución / Universidad
Ingeniera Química	Octubre 1985 - Diciembre 1993	Escuela Politécnica Nacional
Doctora en Ciencias Naturales	Marzo 1996 - Octubre 1999	Instituto Max-Planck für Strahlenchemie/ Ruhr - Universität Bochum

4 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación
4.1 Objetivos
4.1.1 Objetivo General
<ul style="list-style-type: none">Estudiar la degradación de colorantes y tensoactivos de un efluente industrial, mediante la aplicación de un proceso de ozonificación, solo y combinado con peróxido de hidrógeno; y, un proceso foto-Fenton, modificado con ácido cítrico y EDTA.
4.1.2 Objetivos Específicos
<ol style="list-style-type: none">Caracterizar física y químicamente el efluente del área de jabonería y limpieza de la empresa en estudio.Determinar el valor de pH y la concentración de peróxido de hidrógeno para los procesos de ozonificación y ozonificación asistido con peróxido de hidrógeno, que permitan la mayor remoción de contaminantes.Determinar la dosis de ozono consumida para las mejores condiciones del proceso de ozonificación y ozonificación asistido con peróxido de hidrógeno.Determinar las mejores condiciones para el proceso foto-Fenton modificado en modalidad "batch": concentración de sulfato ferroso heptahidratado y agente quelante (ácido cítrico y EDTA), que permitan alcanzar la mayor remoción de contaminantes.Determinar el valor de pH para las mejores condiciones de concentración de sulfato ferroso heptahidratado y agente quelante, que permita la mayor remoción de colorantes y tensoactivos del efluente.



- f. Determinar la remoción de contaminantes bajo las mejores condiciones de operación de cada proceso de oxidación avanzada, mediante la medición de DQO, DBO₅, nivel de biodegradabilidad, COT, color real, contenido de tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales.
- g. Diseñar la planta de tratamiento que combina los procesos de precipitación salina y ozonificación para las mejores condiciones previamente establecidas.
- h. Diseñar la planta de tratamiento que combina los procesos de sedimentación y foto-Fenton modificado para las mejores condiciones previamente determinadas.
- i. Establecer los costos de implementación y puesta en marcha de cada planta de tratamiento.

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

Uno de los problemas más graves que enfrentan las industrias es la conservación del recurso hídrico. Preservar y mantener su calidad impulsa la implementación de tratamientos de aguas residuales, que impidan el deterioro de los cauces receptores (Ramalho, 2003, p. 72).

La industria de fabricación de productos de limpieza genera efluentes con una importante carga de agentes tensoactivos o surfactantes y colorantes que afectan la calidad del agua del cuerpo receptor. Tanto los colorantes, como los tensoactivos poseen cierto nivel de toxicidad que puede alterar el ecosistema acuático (Swisher, 1987, pp. 2, 131; Cserhádi, Forgács y Oros, 2002, pp. 343-344).

Las aguas residuales de la empresa Danec S.A. son de baja biodegradabilidad, debido a la presencia de tensoactivos. Así lo consideró Swisher (1987), quien analizó este parámetro para diferentes tipos de surfactantes (p. 132). Los tensoactivos más empleados en la actualidad corresponden a dos grupos, sulfonato de alquil benceno lineal (LAS) y etoxilato de alquil fenol (APE), que son surfactantes aniónico y no iónico, respectivamente (Scott y Jones, 2000, pp. 235, 248).

Los colorantes tienen la capacidad de absorber y reflejar la luz que atraviesa el agua, lo que puede afectar el crecimiento bacteriano y dañar la cadena alimenticia del ecosistema acuático. Desde esta perspectiva, se establecen como sustancias tóxicas de baja biodegradabilidad. El 70% de colorantes son del tipo azoico, mientras los restantes son principalmente antraquinónicos y ftalocianinas (Koprivanac y Kusic, 2009, pp. 1, 2).

En vista de la creciente demanda del campo industrial por la remediación de aguas contaminadas con sustancias altamente tóxicas y de origen variado, se ha promovido el desarrollo de tecnologías no convencionales de depuración. De esta manera, los procesos de oxidación avanzada (POAs), son una alternativa atractiva para el tratamiento del efluente en consideración, pues ofrecen numerosas ventajas sobre los tratamientos convencionales biológicos, físicos y químicos. Entre dichas ventajas están la facilidad para degradar contaminantes orgánicos refractarios y provocar su mineralización; una menor producción de residuos; además de la generación de especies reactivas, principalmente los radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), con un potencial de oxidación bastante elevado (2,80 V) que supera incluso al del ozono (2,07 V) (Lin, Lin y Leu, 1999, p. 1735; Koprivanac y Kusic, 2009, pp. 4, 5).

La aplicación y desarrollo de POAs han tenido resultados exitosos, que se evidencian en numerosas publicaciones científicas, así como en la implementación de este tipo de tratamiento en instalaciones a escala industrial (Arslan y Balcioglu, 1999, p. 107; Tabrizi y Mehrvar, 2006, p. 120; Chitra, Paramasivan, Shanmugamani, Rao y Paul, 2014, pp. 166-171).

Entre los mencionados POAs, se encuentran la ozonificación y el proceso Fenton. En cuanto a la ozonificación se tiene que es una tecnología que garantiza la conversión de compuestos biorresistentes a compuestos biodegradables (Gutiérrez, Fernández, Herrera, Sepúlveda y Mármol, 2002, p. 51). El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, altamente oxidante y desinfectante, debido a su facilidad para captar electrones. Esta propiedad, lo hace un compuesto con destacadas aplicaciones, sobre todo, en temas de desinfección de agua (Pérez, 2006, p. 9; Velásquez, 2002, p. 3).

El mecanismo de reacción del ozono se basa en la generación de radicales libres, los mismos que son generados por combinación con el agua y que otorgan al ozono una alta eficiencia como desinfectante, así como una elevada capacidad para oxidar materia orgánica del agua, eliminar olores y sabores



desagradables y degradar compuestos químicos tóxicos de diversa naturaleza (Muñoz y Paredes, 2014, p. 2).

La vía de oxidación a pH alto puede verse mejorada bajo condiciones que favorezcan la producción de radicales hidroxilo, tal es el caso de la exposición a radiación ultravioleta o por adición de peróxido de hidrógeno, el cual fomenta la oxidación mediante el incremento de grupos hidroxilo (Pérez, 2006, p. 10).

Por otro lado, el proceso Fenton agrupa un conjunto de tratamientos, en los cuales la especie oxidante, el radical hidroxilo, se genera por la reacción entre el peróxido de hidrógeno y los iones ferrosos o férricos; y, degrada los contaminantes. Su efecto puede ser incrementado por la aplicación de luz ultravioleta, puesto que influye directamente en la formación de radicales hidroxilo y en la regeneración de iones ferrosos en el medio de reacción (García-Montaño, Torrades, García-Hortal, Domenech y Peral, 2006, pp. 86, 87).

Los procesos Fenton y foto-Fenton se efectúan bajo condiciones ácidas, a valores de pH entre 2,8 y 3,0 para evitar la precipitación del hierro presente en el sistema (Vedrennea, Vasquez-Medranoa, Prato-García, Frontana-Uribe, Hernandez-Esparza y de Andrés, 2012, p. 293). Acidificar el efluente a tratar, a dichos niveles de pH, constituye un inconveniente ya que este tipo de aguas residuales se caracterizan por ser alcalinas. Una alternativa para ampliar el rango de pH de trabajo es el empleo de agentes quelantes, ya que estos permiten incrementar la solubilidad del hierro en especial a pH elevado; además se conoce que la aplicación de algunos de ellos tiene influencia en la reacción y la acelera, tal es el caso del EDTA (Tarr, 2003, p. 170). Numerosas investigaciones emplearon otros agentes acomplejantes como el ácido cítrico, lo que ha permitido el desarrollo de la reacción a un pH próximo al neutro (Lewis, Lynch, Bachas, Hampson, Ormsbee y Bhattacharyya, 2009, p. 850).

Todo lo expuesto indica que el proyecto se relaciona con la línea de investigación "Procesos de Oxidación Avanzada", dentro del área "Procesos de Generación de Radicales Químicos y Fotoquímicos y sus Aplicaciones" del Departamento de Ciencias Nucleares.

Al culminar el estudio, se pretende establecer dos alternativas para el tratamiento de las aguas residuales de la empresa en cuestión, ya sea mediante la combinación de los procesos de precipitación salina y ozonificación o a través de los procesos de sedimentación seguida de foto-Fenton modificado, con el objetivo de disminuir la carga contaminante del efluente industrial.

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 color real de muestras compuestas del efluente industrial y caracterización físico-química de tres posteriores muestras representativas del efluente mediante los parámetros: pH, DQO, DBO₅, COT, color real, contenido de tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales.
- b. Valor de pH y concentración de peróxido de hidrógeno para los procesos de ozonificación y ozonificación asistido con peróxido de hidrógeno, con los que se logre la mayor disminución de la concentración de DQO, COT y color real en configuración "batch".
- c. Dosis de ozono consumida para las mejores condiciones del proceso de ozonificación y ozonificación asistido con peróxido de hidrógeno.



- d. Concentración de sulfato ferroso heptahidratado y agente quelante para el proceso foto-Fenton modificado que permitan la mayor degradación de contaminantes, expresada como porcentaje de remoción de la DQO.
- e. Valor de pH para el proceso foto-Fenton modificado que posibilite la mayor disminución de la DQO.
- f. Remoción de contaminantes bajo las mejores condiciones de operación de cada proceso de oxidación avanzada propuesto, mediante la medición de DQO, DBO₅, nivel de biodegradabilidad, COT, color real, contenido de tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales.
- g. Diseño de la planta de tratamiento que combine los procesos de precipitación salina y ozonificación.
- h. Diseño de la planta de tratamiento que combina los procesos de sedimentación y foto-Fenton modificado.
- i. Estudio preliminar de costos de implementación, puesta en marcha y operación de cada planta de tratamiento de aguas residual.

5 Descripción, metodología y cronograma de trabajo

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto

Para la aplicación de los sistemas de tratamiento se recogerán muestras compuestas del efluente generado en el área de jabonería y limpieza de la empresa, por cada semana durante dos meses. Posteriormente, se tomarán tres muestras compuestas del efluente industrial, las mismas que representarán las de mayor carga contaminante, según las cartas de control realizadas de acuerdo con la norma NTE INEN 2176:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. La frecuencia del muestreo se considerará en función de la Resolución No. 002-SA-2014, que contiene la norma técnica para el Distrito Metropolitano de Quito. El transporte de las muestras se realizará de acuerdo con las indicaciones de la norma NTE INEN 2169:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.

Dichas muestras serán caracterizadas por los siguientes parámetros: pH, DQO, DBO₅, COT, color real, contenido de tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales. Los análisis físico-químicos de las muestras se efectuarán en el Laboratorio del Acelerador de Electrones de la Escuela Politécnica Nacional. Los métodos utilizados en cada caso seguirán la normativa Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005).

Para el proceso de ozonificación, las muestras caracterizadas serán sometidas a un pre-tratamiento, mediante un proceso de precipitación salina. El efluente pre-tratado será utilizado para poner en marcha el proceso con ozono en modalidad "batch" y se fijará el valor de 2 g/h de flujo de alimentación del oxígeno. Los tiempos que se probarán son: 30, 50 y 70 min. Se realizará un diseño completamente al azar para determinar el valor de pH con el que se consiga la mayor disminución de concentración de contaminantes en el efluente. De acuerdo con pruebas preliminares se ensayarán los valores de pH de 7, 9 y 11.

Posteriormente, se determinará el pH y la concentración de peróxido de hidrógeno que permitan aumentar la eficiencia del proceso de ozonificación, para lo cual se empleará un diseño experimental 3². El ensayo se llevará a cabo en modalidad "batch" y se probarán tres concentraciones de peróxido de hidrógeno 7, 11 y 15 mM (Tizaoui, Bouselmi, Mansouri y Ghrabi, 2006, p. 320).

A continuación, se determinará la dosis de ozono consumida en el proceso de ozonificación y ozonificación asistido con peróxido de hidrógeno a las mejores condiciones que se establecieron anteriormente. La medición de la dosis de ozono se realizará mediante el método yodométrico según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005).

Para fijar las mejores condiciones de operación del sistema de ozonificación y el tiempo de retención se determinará la cinética del proceso, para ello se analizarán DQO, COT y color real a los tiempos establecidos anteriormente, cada ensayo se llevará a cabo por triplicado.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

Para el tratamiento foto-Fenton modificado con un agente quelante, se empleará el efluente ya caracterizado y pre-tratado mediante sedimentación. El pH se ajustará entre 2,8 y 3,0 para formar el complejo Fe^{2+} -agente quelante. La fuente de luz UV será una lámpara de vapor de mercurio a baja presión, de 60 W.

Se aplicará un diseño factorial 2^2 para determinar la concentración de sulfato ferroso heptahidratado y el agente quelante que consigan la mayor remoción de DQO. Los niveles para la concentración de sulfato ferroso heptahidratado que se ensayarán son 15 y 30 mM (Lin, Lin y Leu, 1999, p. 1 738; Isch, 2015); y, los niveles de acomplejante serán categóricos: ácido cítrico y EDTA.

Tanto el agente quelante como el peróxido de hidrógeno se añadirán al medio de reacción en relación 1:1 respecto al ion ferroso (Isch, 2015). Una vez formado el complejo, se llevará el pH a un valor de 7. La reacción se iniciará con la adición del peróxido de hidrógeno y el accionar de la lámpara de luz UV. Cada cierto tiempo se tomarán alícuotas a las que se agregará policloruro de aluminio en una cantidad de 75 mg/L (Lin, Lin y Leu, 1999) para precipitar el complejo de hierro en forma de flóculos. Se filtrará este contenido para obtener por un lado el efluente tratado y por otro los lodos formados por los flóculos del complejo de hierro. Finalmente, se medirá la DQO de la alícuota filtrada. Cada ensayo se realizará por triplicado.

Sobre las mejores condiciones de concentración de sulfato ferroso heptahidratado y agente quelante, se evaluará el pH con valores de 7 y 9 mediante un diseño completamente al azar. Se seguirá la metodología antes descrita con el porcentaje de remoción de la DQO como variable de respuesta. Cada ensayo se realizará con cinco réplicas (Lewis et al., 2009, p. 853).

Al final, bajo las mejores condiciones de operación de cada proceso de oxidación avanzada, se efectuará una caracterización completa del efluente ya tratado, mediante los siguientes parámetros: pH, DQO, DBO₅, nivel de biodegradabilidad, COT, color real, contenido de tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales, con el propósito de conocer los porcentajes de remoción de contaminantes y evaluar la necesidad de incorporar el flujo de agua tratada al proceso físico-químico que la empresa tiene en funcionamiento o descargarla directamente al cuerpo receptor.

Se diseñará la planta de tratamiento de aguas residuales para cada proceso de depuración propuesto con base en las mejores condiciones previamente obtenidas y, finalmente, se realizará un análisis preliminar de costos de la implementación, puesta en marcha y operación de cada planta de tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington D.C., Estados Unidos de América: American Public Health Association.
2. Arslan, I. y Balcioğlu, I. (1999). Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study. *Dyes and Pigments*, 43(2), 95-108. doi:10.1016/S0143-7208(99)00048-0
3. Chitra, S., Paramasivan, A., Shanmugamani, A., Rao, S. V. y Paul, B. (2014). Advanced oxidation processes for the treatment of surfactant wastes. *Journal of chemical engineering and chemistry research*, 1(3), 163-173.
4. Cserhádi, T., Forgács, E. y Oros, G. (2002). Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environmental International*, 28(5), 337-348. doi:10.1016/S0160-4120(02)00032-6
5. García-Montaña, J., Torrades, F., García-Hortal, J. A., Domenech, X. y Peral, J. (2006). Combining photo-Fenton process with aerobic sequencing batch reactor for commercial hetero-bireactive dye removal. *Applied Catalysis B: Environmental*, 67(1), 86-92. doi:10.1016/j.apcatb.2006.04.007



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

6. Gutiérrez, E., Fernández, N., Herrera, L., Sepúlveda, J. y Mármol, Z. (2002). Efecto de la aplicación de ozono sobre la biodegradabilidad de aguas de formación. *Multiciencia*, 2(1), 50-54. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/904/90420106.pdf> (Noviembre, 2015).
7. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (INEN). (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras*. Recuperado de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2169-1.pdf> (Noviembre, 2015).
8. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (INEN). (2013). *Agua. Calidad del Agua Técnicas de Muestreo*. Recuperado de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2176-1.pdf> (Noviembre, 2015).
9. Isch, T. (2015). *Estudio de un sistema para el tratamiento de efluentes contaminados con compuestos surfactantes por un método Fenton y Fenton modificado con un agente quelante (EDTA)*. Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico no publicado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
10. Koprivanac, N. y Kusic, H. (2009). *Hazardous organic pollutants in colored wastewaters*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
11. 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
12. Lin, S. H., Lin, C. M. y Leu, H. G. (1999). Operating characteristics and kinetic studies of surfactant wastewater treatment by Fenton oxidation. *Water Research*, 33(7), 1735-1741. doi:10.1016/S0043-1354(98)00403-5
13. Muñoz, F. y Paredes, A. (2014). Descontaminación de fenoles en el efluente de una refinería ecuatoriana, mediante el uso de ozono y combinación con peróxido de hidrógeno. *Revista EPN*, 34(1), 1-6.
14. Pérez, M. (2006). *Tratamiento avanzado de aguas residuales para riego mediante oxidación con ozono: una alternativa ecológica*. Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid, España. Recuperado de: <http://www.conama.org/download/bancorecursos/LIBRO%20CONAMA8.pdf> (Noviembre, 2015).
15. Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. (Edición Revisada). Barcelona, España: Reverté.
16. Scott, M. J. y Jones, M. N. (2000). Biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1508(1), 235-251. doi:10.1016/S0304-4157(00)00013-7
17. Secretaría de Ambiente. (2014). *Resolución N° 0002-SA-2014: Normas técnicas para la aplicación de las ordenanzas metropolitanas sustitutivas del Título V, "Del Medio Ambiente" del libro segundo del código municipal para el Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado de: http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf (Noviembre, 2015)
18. Soares, O., Órfao, J., Portela, D., Vieira, A. y Pereira, M. (2006). Ozonation of textile effluents and dye solutions under continuous operation: Influence of operating parameters. *Elsevier*. 137(3). 1664-1673. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.05.006
19. Swisher, R. (1987). *Surfactant Biodegradation*. (2da. ed.). New York: Marcel Dekker, Inc. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=G56_-Hyey9Icyprintsec=frontcoveryhl=esysource=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepageqyqf=true (Noviembre, 2015)
20. Tabrizi, G. y Mehrvar, M. (2006). Pilot-plan study for the photochemical treatment linear alkylbenzene sulfonate. *Separation and Purification Technology*, 49(2), 115-121. doi:10.1016/j.seppur.2005.09.003
21. Tarr, M. A. (2003). Fenton and modified Fenton methods for pollutant degradation. En M. A. Tarr (Ed.), *Chemical degradation methods for wastes and pollutants: environmental and industrial applications*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=7B8KwVVRPECyprintsec=frontcoververyhl=esysource=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepageqyqf=false (Noviembre, 2015)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

22. Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L. y Ghrabi, A. (2006). Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *Journal of Hazardous Materials*, 140(3), 316-324. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.09.023.
23. Vedrennea, M., Vasquez-Medranoa, R., Prato-Garcia, D., Frontana-Urbe, B. A., Hernandez-Esparza, M. y de Andrés, J. M. (2012). A ferrous oxalate mediated photo-Fenton system: Toward an increased. *Journal of Hazardous Materials*, 243, 292-301. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.10.032
24. Velásquez, M. (2002). *Uso del ozono en el tratamiento de aguas residuales para la remoción de fenotipo rugoso resistente al cloro*. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (pp. 1-7). Cancún, México, AIDIS.
25. Zhu, S.-N., Wang, C., Yip, A. y Tsang, D. (2015). Highly effective degradation of sodium dodecylbenzene sulphonate and synthetic greywater by Fenton-like reaction over zerovalent iron-based catalyst. *Environmental Technology*, 36(11), 1423-1432. doi:10.1080/09593330.2014.992481

5.2 Cronograma de trabajo anual:

Actividad	Porcentaje de avance por mes (%)						TOTAL
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Muestreo compuesto preliminar	100						100
Caracterización de las muestras compuestas	50			50			100
Adquisición de materiales y reactivos	60	40					100
Desarrollo del pretratamiento del efluente	100						100
Determinación de flujo de alimentación de oxígeno y pH para el proceso de ozonificación		100					100
Determinación de la concentración de peróxido de hidrógeno que permita mejorar el proceso de ozonificación		30	70				100
Determinación de la dosis de ozono para el proceso de ozonificación y ozonificación asistido con peróxido de hidrógeno			20	80			100
Determinación de las mejores condiciones de concentración de sulfato ferroso heptahidratado y agente quelante para el proceso foto-Fenton modificado	30	50	20				100
Determinación del valor de pH para el proceso foto-Fenton modificado			60	40			100
Caracterización de muestras posterior a cada alternativa de tratamiento			20	80			100
Diseño de los sistemas de tratamiento			20	40	40		100
Análisis de costos de inversión y operativos asociados a cada planta de tratamiento				20	70	10	100
Redacción de informes finales					20	80	100
TOTAL							100

6 Fechas de inicio y fin

Inicia: 19/01/2016
Termina: 09/01/2017




7	Infraestructura, equipos y fondos adicionales.
	7.1 Infraestructura y equipos <ul style="list-style-type: none">- Espectrofotómetro HACH- Balanza analítica- Estufa- Sensor de DBO₅- Bomba de vacío- Medidor de COT- Agitadores magnéticos- Conductivímetro- Digestor para DQO- Generador de ozono
	7.2 Fondos adicionales <p>De acuerdo con la reunión efectuada el día 22 de diciembre de 2015 y comunicaciones electrónicas, con un representante de la empresa Danec S. A., se acordó que la empresa aportará con: viales para medición de DQO, lámpara UV de vapor de mercurio a baja presión (60 W) y cilindros de acrílico.</p>
	7.3 Breve justificación del equipo requerido <p>Los equipos mencionados serán utilizados en el proceso de caracterización de las muestras del efluente mediante los parámetros: pH, DQO, DBO₅, COT, color real, contenido de tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales, además los equipos mencionados permitirán llevar a cabo los ensayos de ozonificación y foto-Fenton modificado. Los dos agitadores magnéticos a adquirirse, serán utilizados para homogenizar las muestras durante la reacción que se realizará en presencia de la luz ultravioleta y en paralelo. La homogenización es necesaria para un consistente análisis cinético de la reacción.</p>

8	Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual) <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		
<u>Primer Año</u>			
	Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje de Ejecución (%)
	1. Contratación Servicios Personales por Contrato	0,00	
	Subtotal	0,00	
	2. Maquinaria y Equipos		
	- Agitador magnético 0-2500 rpm, 2	767,00	
	- Tanque de oxígeno de alta pureza, grado 5	1500,00	
	Subtotal	2267,00	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

3.	Reactivos y materiales de laboratorio		
-	Papel filtro 47 mm de diámetro	120,00	
-	Viales para medición de DQO, rango alto, 200	640,00	
-	Viales para medición de DQO, rango bajo, 100	320,00	
-	Peróxido de hidrógeno 30%, p/p, 2L	70,00	
-	Antiespumante, 2L	38,00	
-	Yoduro de potasio, 500 g	119,00	
-	Sulfato ferroso heptahidratado, 500 g	19,00	
-	Ácido cítrico, 500 g	76,50	
-	EDTA, 500 g	84,77	
-	Pastillas para agitadores magnéticos, 30x30 mm, 5	180,00	
	Subtotal	1667,27	
4.	Literatura especializada	0,00	
	Subtotal	0,00	
5.	Viajes técnicos y de muestreo	50,00	
	Subtotal	50,00	
6.	Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones	1000,00	
	Subtotal	1000,00	
	TOTAL PRESUPUESTO	4984,27+ IVA	100

9	Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto	
	Quito, 15 de Enero de 2016	
	Nombre: Ing. Jady Pérez CC: 171110131-9	
		Firma del Director

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO	
Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de Ciencias Nucleares, en Sesión Extraordinaria del 26 de enero de 2016 mediante Resolución No. 09-16 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.	
	<u>Quito, 10 de febrero de 2016</u>
JEFE DEL DEPARTAMENTO/INSTITUTO Nombre: Dra. Florinella Muñoz B. CC: 170458202-0	Lugar y fecha