

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS:

“ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL USO DE
NANOPARTICULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A
NIVEL LABORATORIO EN LA FACULTAD DE INGENIERIA
QUIMICA Y TEXTIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA OCTUBRE - DICIEMBRE 2017”

PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORA:

Bach. Jazmin Carolina, SANTIAGO TALENAS

ASESOR:

Jhonny Prudencio, JACHAS ROJAS

HUÁNUCO – PERU
2018

DEDICATORIA

A mis padres Salomón y Rosa, por la fortaleza, paciencia y toda la confianza que depositaron en mí, durante mi permanencia en Lima y durante toda mi carrera profesional, por ser motivos de mi constancia, dedicación e inspiración diaria para que siguiera adelante y sea perseverante, quienes con sus sabios consejos y apoyo incondicional me motivaron constantemente para alcanzar mi meta, porque sin ellos no hubiera podido realizar este trabajo.

A mis hermanos Jhonatan, Jhanet y Angel, que será un ejemplo para que se superen y lleguen hasta el final de la meta.

A mi mejor amigo por brindarme su apoyo incondicional y estar en todo las dificultades que me he enfrentado en la realización de este trabajo, con sus palabras de aliento no me dejaba caer para cumplir con mi meta.

A la Dra. Verónica Carranza, por haberme involucrado en este fantástico mundo de las nanotecnologías, conocedora de las múltiples dificultades a las que me he enfrentado, tanto personales como profesionales en la realización de este trabajo y del que en todo momento he recibido el apoyo necesario e incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento profundo a la Dra. Verónica Carranza de la Universidad de São Paulo - USP, por haber aceptado ser mi tutora quien en forma permanente y oportuna me asesoró desde el inicio hasta la culminación de la presente tesis y a la vez ser el contacto con la universidad Nacional de Ingeniería, a quien le estoy muy agradecida, porque sin su ayuda y colaboración no se hubiera podido realizar este trabajo. A la vez por la formación e investigación que me inculco profesionalmente y a quien le deseo los mejores éxitos.

Al Ing. M.Sc. Alex Pilco de la Universidad Nacional de Ingenieros – UNI, quien estuvo a cargo de la sala de investigación C4-153 del laboratorio N°11 de Físicoquímica de la FIQT, por haberme recibido muy cordialmente en su laboratorio, quien apoyó al proyecto de investigación desde el inicio hasta la culminación de la presente tesis, porque sin su ayuda y colaboración no se hubiera podido realizar este trabajo. A la vez por brindarme desde un inicio su apoyo, amistad y confianza.

A la Dra. Katia Ribeiro de la Universidad de São Paulo - USP, por haber asesorado en el trabajo de investigación porque sin su ayuda, colaboración y consejo no se hubiera podido realizar este trabajo.

Al Ing. M.Sc. Cesar Gutiérrez docente de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao – UNAC, quien apoyo al proyecto con la obtención de los Viales de Digestión de DQO para el análisis de las muestras.

A Wilmer, Juan Carlos, Junior y Rosita alumnos de la Universidad Nacional del Callo – UNAC de la Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Química por su apoyo incondicional en el proyecto de investigación, su amistad y su cooperación en diferentes tareas del trabajo.

Al Ing. Frank Martínez representante de OMEGA PERU S.A. Por su asesoría técnica en el manejo de la incubadora DRB200 y el espectrofotómetro DR 3900, ambos de la marca HACH.

A la Escuela Académico Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco – UDH, por ser mi alma mater, donde me forje profesionalmente para la realización de este trabajo.

A los ingenieros; Miguel Carrillo, Miguel Gutiérrez, docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la universidad de Huánuco – UDH, por brindarme su apoyo en la ejecución de la presente tesis.

Al ingeniero Heberto Calvo, docente de la EAP. De Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco – UDH, por el apoyo brindado a la tesis, ya que sin su ayuda y colaboración no se hubiera podido realizar este trabajo.

A Henry por su ayuda, amistad y apoyo incondicional, en los momentos más difíciles en la realización de este proyecto, a quien le doy las gracias por ser quien camina a mi lado para ser mejor persona cada día y cumplir los retos propuestos.

INDICE

RESUMEN	11
INTRODUCCION	13
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION	14
1.1. Descripción del problema	14
1.2. Formulación del Problema	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos	16
1.4. Justificación de la investigación	17
1.5. Limitaciones de la investigación	19
1.6. Viabilidad de la investigación	19
1.6.1. Ambiental	19
1.6.2. Social	20
1.6.3. Técnico	20
CAPITULO II: MARCO TEORICO	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.2. Bases teóricas	32
2.3. Definiciones conceptuales	60
2.4. Hipótesis	64
2.4.1. Hipótesis General	64
2.4.2. Hipótesis Específica	64
2.5. Variables	65
2.5.1. Variable dependiente	65
2.5.2. Variable independiente	65
2.6. Operacionalización de variables	66
CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	67
3.1. Tipo de investigación	67
3.1.1. Enfoque	67
3.1.2. Alcance o Nivel	68
3.1.3. Diseño	69
3.2. Muestra total y Tamaño de muestra	71
3.2.1. Muestra total	71
3.2.2. Tamaño de Muestra	72
3.3. Técnicas e instrumento de recolección de datos	84
3.4. Para la recolección de datos	84
3.5. Para la presentación de datos (cuadros y/o gráficos)	85
3.6. Para el análisis e interpretación de los datos	85
CAPITULO IV: RESULTADOS	86

4.1	Procesamiento de datos	86
4.2	Contrastación de hipótesis y prueba de hipótesis	87
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		90
CONCLUSIONES		92
OBSERVACIONES		93
RECOMENDACIONES		94
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		95
ANEXOS		

Anexo 1. Resolución de aprobación del proyecto de trabajo de investigación.

Anexo 2. Resolución del nombramiento de asesor.

Anexo 3. Matriz de consistencia.

Anexo 4. Plano de Ubicación de la ejecución del proyecto.

Anexo 5. Datos obtenidos en el laboratorio.

Anexo 6. Equipos utilizados en el laboratorio.

Anexo 7. Panel fotográfico.

Anexo 8. Certificado de los materiales.

APENDICES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura química del Fenol

Figura 2: secuencia de reacciones en la oxidación del Fenol.

Figura 3: Procesos fotocatalíticos del semiconductor - TiO_2 .

Figura 4: Estructura cristalina de rutilo (a), anatasa (b) y brookita (c).

Figura 5: Esquema de los procesos fotoinducidos sobre una partícula semiconductor. h^+ son los huecos en la banda de valencia, e^- los electrones en la banda de conducción, A es una especie aceptora de electrones (oxidantes), D es una especie donadora de electrones (reductor).

Figura 6: Procesos que ocurren en la interface semiconductor-electrolito bajo iluminación con luz UV.

Figura 7: Estructura química del colorante Azul directo 199 (Turquesa Novazol JRLH Conc).

Figura 8: Fotoreactor modificado para el tratamiento del fenol, tipo bach.

Figura 9: Lado izquierdo el TiO_2 nano, el lado derecho el colorante DB199.

Figura 10: Lado izquierdo la incubadora, donde se digesta las muestras y el lado derecho el espectrofotometro, donde se hacen las medidas de absorbancia, transmitancia y ppm.

Figura 11: El lado izquierdo la centrifugadora, para decantar al TiO_2 y el lado derecho el pH-metro para medir el potencial de Hidrógeno.

Figura 12: El lado izquierdo la balanza analítica, y el lado derecho el agitador magnético.

Figura 13: a) Fotoreactor sin modificar; b) Fotoreactor modificado recipiente de vidrio circular de 13 cm de diámetro y 26 cm de longitud forrado con papel aluminio.

Figura 14: Dónde: a) Agitador magnético, b) Fotoreactor, c) Tubo de cuarzo, d) Lámpara UV-Vis, e) Barra magnética, f) Tapa del fotoreactor, g) Transformador del agitador magnético.

Figura 15: Esquema del proceso.

Figura 16: Primera solución artificial fenólica, coloración rosácea.

Figura 17: Segunda solución artificial, fenol y DB199, coloración turquesa.

Figura 18: Fotoreactor modificado conteniendo la muestra y el catalizador TiO_2 .

Figura 19: Partes del fotoreactor sin modificar UV de acero inoxidable

Figura 20: Espectrofotómetro marca HACH DR 3900.

Figura 21: Incubador marca HACH ANALYZER DRB200, Pre-programmed for all standard digestions (COD or heavy metals) and freely programmable for user-specific digestions.

Figura 22: Viales para DQO.

Figura 23: Balanza analítica marca OHAUS PIONEER ANALYTICAL.

Figura 24: pH-metro modelo AD1030 Professional pH-ORP-TEMP Bench Meter.

Figura 25: Gradilla de refrigeración (tubos de DQO, 16mm) acero inoxidable.

Figura 26: Puntillas para pipetas.

Figura 27: Bomba pipeteadora- SciPette.

Figura 28: Espátula tipo Cuchara de Laboratorio.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Reacciones en la superficie del TiO₂ irradiado.

Tabla 2: Posiciones de bandas de algunos semiconductores fotocatalizadores en solución acuosa a pH = 1.

Tabla 3: Principales procesos de Oxidación avanzada.

Tabla 4: Componentes y variables que presentan las aguas residuales.

Tabla 5: Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

Tabla 6: ECA Agua - Parámetros y valores de la categoría 3.

Tabla 7: Propiedades Físico- químicas del Fenol.

Tabla 8: Variables, Dimensiones e indicadores que se realizaran en el proyecto.

Tabla 9: Muestra total del proyecto, 12 tratamientos y 6 blancos.

Tabla 10: Muestra del proyecto, dos tipos de catalizadores con tres concentraciones diferentes.

Tabla 11: Resumen de equipos

Tabla 12: Técnica e instrumentos para la recolección de datos.

Tabla 13: Prueba de Normalidad de los datos (DQO).

Tabla 14: Interacción del TiO₂ con el azul de metilo.

Tabla 15: Interacción del TiO_2 con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles.

Tabla 16: Porcentaje de degradación del fenol con las respectivas concentraciones de TiO_2 nano.

Tabla 17: Porcentaje de degradación del fenol con las respectivas concentraciones de TiO_2 nano y DB199.

Tabla 18: Datos obtenidos para la creación de la curva de calibración.

Tabla 19: Comparación de TiO_2 nano y TiO_2 nano + DB199 a diferentes concentraciones.

GRAFICOS

Gráfico 1: Prueba de efectos Inter sujetos, que muestra la interacción del TiO_2 con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles en aguas residuales domésticas.

Gráfico 2: Curva de Calibración para DQO

Gráfico 3: Extrapolación de la curva para la DQO

LISTA DE ABRIVIATURAS Y SIGLAS

AEMA:	Agencia Europea de Medio Ambiente
BC:	Banda de conducción
BV:	Banda de valencia
CPC:	Captadores Parabólicos Compuestos
DQO:	Demanda química de oxígeno
EPA:	Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos
EDAR:	Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales urbanas
H ₂ O ₂ :	Peróxido
POA:	Procesos de oxidación avanzados
pH:	Potencial de Hidrogeno
PRTR:	Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes
SC:	Semiconductor
SLA:	Sistema de lodos activados
TiO ₂ :	Dióxido de titanio
TRH:	Tiempo de retención hidráulica
TOC:	Carbono orgánico total
UN-Water:	Naciones Unidas para el agua
UV:	Ultravioleta
VCO:	Velocidad de carga orgánica
Vis:	Visible

RESUMEN

Las aguas residuales domésticas sin un previo tratamiento se considera como una de las que genera mayor impacto en el medio ambiente, debido a las características de su proceso.

La fotocatalisis heterogénea ha experimentado una creciente atención en las últimas décadas como una alternativa interesante a tecnologías convencionales empleadas para el tratamiento de aguas contaminadas. Los procesos fotocatalíticos se basan en la irradiación de suspensiones de óxidos semiconductores en presencia de las especies contaminantes que se quiere degradar.

El presente trabajo de investigación plantea la aplicación de los Procesos de Oxidación Avanzada - POA, utilizando la tecnología de Fotocatalisis Heterogénea. El propósito fue evaluar la eficiencia de nanopartículas de TiO_2 , utilizadas como catalizador, en el proceso de fotocatalisis heterogénea, para la remoción de compuestos fenólicos presentes en aguas residuales domésticas, para lo cual se evalúa la eficiencia de remoción mediante los parámetros que inciden directamente en la eficiencia de degradación de la materia orgánica, medida como DQO. En este trabajo se utilizó una muestra artificial contaminada con fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) a concentración de 1000mg/L. El tipo de investigación fue mixto y utilizando el método experimental.

Para la optimización de las condiciones del proceso de fotocatalisis se valoró la concentración de TiO_2 sobre la eficiencia de remoción del Fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$). El seguimiento para la degradación del compuesto orgánico Fenol se realizó por la DQO, la máxima eficiencia de remoción que se obtuvo en el presente trabajo fue de 37.68 % a una concentración de TiO_2 de 150 mg/L, por un tiempo de exposición a la radiación UV-Vis de 3 horas.

ABSTRACT

Domestic wastewater without a previous treatment is considered one of the ones that generates the greatest impact on the environment, due to the characteristics of its process.

The heterogeneous photocatalysis has experienced an increasing attention in the last decades as an interesting alternative to conventional technologies used for the treatment of contaminated water. Photocatalytic processes are based on the irradiation of semiconductor oxide suspensions in the presence of contaminating species that are to be degraded.

The present research project proposes the application of the Advanced Oxidation Processes - POA, using Heterogeneous Photocatalysis technology. The purpose was to evaluate the efficiency of nanoparticles of TiO_2 , used as a catalyst, in the process of heterogeneous photocatalysis, for the removal of phenolic compounds present in domestic wastewater, for which the efficiency of removal is evaluated by the parameters that directly affect the the degradation efficiency of organic matter, measured as COD. In this work an artificial sample contaminated with phenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) at a concentration of 1000mg / L was used. The type of research was mixed and using the experimental method.

For the optimization of the conditions of the photocatalysis process, the TiO_2 concentration was evaluated on the removal efficiency of Phenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$). The monitoring for the degradation of the organic compound Phenol was carried out by the COD, the maximum removal efficiency obtained in the present work was 37.68% at a concentration of TiO_2 of 150 mg / L, for a time of exposure to radiation UV-Vis 3 hours.

INTRODUCCION

El verter los residuos sólidos y líquidos en la naturaleza ha sido una manera más fácil de poderlo eliminar, hasta que la capacidad de auto depuración de la naturaleza ha dejado de ser suficiente, ya que ha sobrepasado los niveles permitidos, provocando una contaminación del medio ambiente que hace inservibles nuestros recursos naturales para determinados usos y alteran sus características. El principal problema son los puntos de descarga de aguas residuales sin un tratamiento que van directamente a los cuerpos de agua superficial, a través de las salidas de desagües controlados e ilegales, situados sin una estrategia de tratamiento.

Los efluentes contienen residuos peligrosos y/o sustancias recalcitrantes. El manejo inadecuado de estos efluentes causa la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Su tratamiento por procesos convencionales a menudo no es eficiente; los procesos oxidativos avanzados han sido el foco de varios estudios en busca de alternativas viables para el tratamiento de aguas residuales conteniendo contaminantes orgánicos.

En el presente estudio, el proceso fotocatalisis Heterogénea con TiO_2 es abordado, con la utilización de lámparas UV - Vis como fuente de radiación.

El estudio consistió en una etapa de experimentos con un reactor modificado provisto de un recipiente de vidrio circular forrado con papel aluminio conectado a un agitador magnético, equipado con una lámpara UV-Vis eléctricas. Este sistema de operación se utilizó para diferentes concentraciones de TiO_2 , el proceso que se utilizó en el trabajo es batch o por lotes, la alimentación es cargada al comienzo de la operación, se introduce la lámpara UV dentro de un tubo de cuarzo para que no tenga contacto con el efluente, el sistema es irradiado por luz UV durante todo el tratamiento, un 37.68 % del la carga orgánica fue removido en 3 horas de radiación, esto fue medido por el DQO.

Palabras clave: fotodegradación, fotoreactor, efluentes, fenol, TiO_2 .

CAPITULO I:

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con la Naciones Unidas para el agua (UN-Water 2017), a nivel mundial, más del 80% de las aguas residuales de nuestras casas, ciudades, industrias y agricultura regresan al ambiente sin ser tratadas o reutilizadas. La misma fuente señala que, en los países de ingresos altos, el 70% de las aguas residuales pasan por un tratamiento antes de devolverlas al ecosistema o antes de reusarla, mientras que, en los países de menores ingresos, este porcentaje se reduce considerablemente, En países de ingresos bajos, solo se trata el 8% de las aguas residuales municipales e industriales. El agua que se devuelve al ecosistema sin ningún tipo de tratamiento produce contaminación. (Castro, 2017).

A nivel mundial cerca de 2 mil millones de personas utilizan una fuente de agua potable contaminada con el riesgo de contraer enfermedades, como el cólera, fiebre tifoidea u otros, estas enfermedades de origen hídrico, según la Organización Mundial de la Salud, causan la muerte de más de 800 mil personas cada año. (Castro, 2017).

Una gran parte de los vertidos residuales contienen compuestos orgánicos en una concentración demasiado baja como para que su recuperación sea rentable, pero lo suficientemente elevada como para constituir una fuente de contaminación importante. Muchos de estos compuestos son extremadamente tóxicos y recalcitrantes, por lo que el tratamiento biológico convencional no es factible. Este es el caso de los compuestos fenólicos, que se emplean en una gran variedad de industrias tales como la producción de resinas, nailon, plastificantes, antioxidantes, aditivos del aceite, pesticidas, colorantes, explosivos, desinfectantes, biocidas, etc. (Fiege et all, 2007).

Uno de los grandes problemas es la disposición de aguas residuales sin tratamiento alguno y las aguas residuales tratadas inadecuadamente que contaminan los cuerpos de agua natural, la sobrecarga de aguas residuales en las plantas de tratamiento cuando su infraestructura es insuficiente, origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles (LMP), y no se cumplan con los estándares de calidad ambiental (ECA). Esto genera problemas ambientales como la contaminación de los cuerpos de agua y la generación de malos olores que causan conflictos con la población. (OEFA, 2014).

La producción mundial de fenol está en torno a 7 millones de toneladas anuales. La mayor parte del mismo (~ 95 %) se sintetiza a partir de la alquilación de benceno y su posterior oxidación en medio ácido. (E-PRTR, 2012).

Los vertidos de fenol son especialmente dañinos para el medio ambiente debido a su toxicidad. La presencia de fenol y otros compuestos aromáticos (denominados fenoles de manera conjunta) en aguas de Europa se encuentra documentada en el Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (E-PRTR, 2012).

Y en aguas de España en el correspondiente Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.

Según datos del año 2009, la emisión directa e indirecta de fenoles a las aguas del conjunto de países pertenecientes a la Unión Europea (UE) fue de 662 toneladas métricas, de las que únicamente 49 kg se debieron a vertidos accidentales. (E-PRTR, 2012).

En lo que respecta a los vertidos de compuestos fenólicos en España, estos representan solo un 2 % del total europeo, y de ellos casi las tres cuartas partes (72 %) son debidas a la industria siderúrgica, altos

hornos y a las refinerías de petróleo y gas. Además, y debido en parte a la proliferación de este tipo de actividades contaminantes en la zona, cabe destacar que en el año 2010, y de acuerdo con el PRTR-España, Asturias fue la comunidad autónoma que más toneladas de fenol vertió al agua (38%), Valenciana (20%), Andalucía (12%), Cataluña (10%) y otros (20%). (E-PRTR, 2012).

Los fenoles son compuestos que se absorben rápidamente por la inhalación del vapor, en contacto con la piel y por ingestión, alcanzándose una concentración nociva en el ambiente por evaporación de la sustancia a 20° C. (E-PRTR, 2012).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la eficacia del grado de eliminación del FENOL a través del Proceso Catalítico Heterogéneo usando Nanopartícula de Dióxido de Titanio en el tratamiento de aguas residuales domésticas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el grado de eliminación del fenol, utilizando proceso catalítico heterogéneo con nanopartículas de TiO_2 como catalizador, provenientes de aguas residuales domésticas a nivel laboratorio en la Facultad de ingeniería química y textil de la Universidad Nacional delIngeniería Octubre – Diciembre 2017.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar el efecto de degradación del fenol a diferentes concentraciones de TiO_2 en un medio contaminado.

- Evaluar la influencia de los catalizadores mixtos de TiO_2 en el proceso de fotodegradación del fenol comparando los resultados con los parámetros.
- Evaluar la calidad del efluente antes y después de su tratamiento con diferentes concentraciones de nanopartículas de TiO_2 en el proceso de degradación del fenol.
- Evaluar la variación de la actividad fotocatalítica con el número de usos del catalizador.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los procesos fotoquímicos y fotocatalíticos tienen un gran potencial para convertirse en alternativas viables, entre ellos los Procesos Oxidativos Avanzados (POA) permiten la conversión de contaminantes orgánicos a sustancias menos tóxicas y / o más biodegradables y, en casos favorables, pueden llevar a la completa oxidación de contaminantes. (Adriana et al, 2009).

Por otro lado, si el agua que contiene fenol se clora, aumenta su potencial tóxico ya que se forman clorofenoles, cuyos niveles permitidos en aguas potables son un orden de magnitud menor que los del fenol puesto que se degradan más lentamente que este. Estos compuestos dan olor y sabor a las aguas y son detectados a menudo en aguas residuales tratadas. (Masqué et al, 1993).

Su elevada toxicidad hace que sean considerados como contaminantes prioritarios por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente, y la EPA (Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos).

El fenol es un contaminante que presenta una alta toxicidad, alta demanda de oxígeno (2,4 mg O₂/mg de fenol) y lenta biodegradabilidad. (AEMA, 2012).

Cuando la exposición a la sustancia es de corta duración, el vapor es corrosivo al contacto con los ojos, la piel y el tracto respiratorio, pudiendo causar graves quemaduras. Por inhalación provoca alteraciones en el sistema nervioso central, el corazón y el riñón, dando lugar a convulsiones, alteraciones cardíacas, fallos respiratorios, colapsos, estado de coma e incluso la muerte.

Respecto de su incidencia con el medio ambiente, es una sustancia nociva para los organismos acuáticos, provocándoles efectos adversos de distinta magnitud en función de la concentración a la que se encuentren expuestos. Esta sustancia está clasificada como Compuesto Orgánico Volátil (VOC) y puede contribuir potencialmente a la formación de ozono troposférico, dañino para los cultivos, la fauna y el hombre. (E-PRTR, 2012).

Por ello el Dióxido de Titanio (TiO₂) a nano-escala está siendo investigado por su capacidad de eliminar diversos contaminantes orgánicos del agua, esta tecnología está siendo desarrollada para la aplicación en procesos de tratamiento de aguas residuales, utilizando energía solar como fuente de excitación. (Leguizamón et al, 2010).

Mediante las mediciones espectrofotométricas del filtrado del TiO₂, Se hará seguimiento a la concentración adsorbida, antes y después del tratamiento, durante tres horas, para ello se manipulará un reactor fotocatalítico, donde se evaluará la degradación del contaminante modelo (Fenol).

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La bibliografía necesaria en la realización de la investigación no fue amplia, ya que este tema aun es nuevo en nuestro País.
- La materia prima de TiO_2 a escala nano y mineral (roca) no se encuentra en nuestro país, por lo que se requirió traer del extranjero.
- Los Equipos de la Universidad Nacional del Callao presentaron algunos problemas técnicos por lo que se optó cambiar de laboratorio a la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Los costos tratados en este proyecto fueron cubiertos por la autora, la Dra. Verónica Carranza Oropeza y el M.Sc. Alex Pilco de la Universidad Nacional de Ingenieros, quien estuvo a cargo de la sala de investigación C4-153 del laboratorio N°11 de Fisicoquímica de la FIQT.
- Los reactivos fueron importados del extranjero (india) dado el caso se esperó 45 día para contar con los reactivos.
- El equipo del laboratorio (espectrofotómetro) presento algunos percances al inicio de la ejecución del proyecto.
- El TiO_2 en mineral no se pudo importar en pequeña cantidad por lo que se optó realizar el proyecto solo con el TiO_2 nano.
- Se modificó el fotoreactor para el tratamiento del efluente en la presente tesis.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. **AMBIENTAL:** El fenol es un contaminante que presenta una alta toxicidad, alta demanda de oxígeno y lenta biodegradabilidad, si el agua que contiene fenol se clora, aumenta su potencial tóxico y forman clorofenoles que se degradan más lentamente. respecto de su incidencia con el medio ambiente, es una sustancia nociva para los organismos acuáticos, provocándoles efectos adversos de distinta

magnitud en función de la concentración a la que se encuentren expuestos.

El tratamiento del agua residual doméstica tendría una aceptable calidad sanitaria y por consiguiente tendríamos la recuperación de los cuerpos de agua que son utilizados como vertederos, al hacer un pre tratamiento al agua residual disminuiríamos la contaminación y posteriormente la recuperación ambiental.

1.6.2. **SOCIAL:** Mejora de la calidad de vida para las poblaciones que se encuentran río abajo que utilizan el agua para consumo humano y para riego de sus cultivos, disminuiría el índice de mortalidad por beber agua contaminada.

1.6.3. **TÉCNICOS:** Asesora en temas de nanotecnología, Dra. Verónica Carranza, quien guio el desarrollo de esta tesis. El apoyo técnico de la facultad de Ingeniería química de la Universidad Nacional del Callao, la Dra. Katia Ribeiro - Universidad de Sao Paulo y con la facultad de Ingeniería química de la Universidad Nacional de Ingeniería el M.Sc. Alex Pilco en cuyo laboratorio de investigación fueron realizados los ensayos necesarios para la realización de esta tesis, el área de investigación se encuentra ubicado en las coordenadas UTM en WGS-84: E: 277090 , S: 8670134.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

LOCAL

- No se encontró antecedentes de la investigación a nivel local ya que es un tema nuevo en nuestro país.

NACIONAL

- La industria de curtiembre se considera como una de las que generan mayor impacto ambiental, debido a las características de sus procesos, reactivos químicos utilizados y generación de residuos producidos.

En este trabajo se evaluó la biodegradación aeróbica del efluente de pelambre, a través del sistema de lodos activados (SLA), estudiando la adaptación de la biomasa aeróbica y optimizando los parámetros operacionales del sistema de tratamiento, para aumentar la eficiencia de depuración. Dentro de los parámetros a optimizar se encuentran la velocidad de carga orgánica (VCO) y el tiempo de retención hidráulica (TRH). Se determinó los parámetros que inciden directamente en la eficiencia de eliminación de la materia orgánica, medida como DQO y DBO5. La disminución de la toxicidad del efluente es evaluada a través de *Daphnia magna* y *Daphniapulex*.

Para aumentar la biodegradación de compuestos de elevado peso molecular contenido en el efluente de pelambre, se estudió la aplicación de los procesos de oxidación avanzada (POA) posterior al tratamiento biológico (SLA), utilizando como proceso oxidativo tres tipos de post-tratamiento: la reacción de Fenton, reacción de foto-Fenton y fotocátalisis heterogénea con TiO_2 en cada caso, se evalúa la eficiencia de eliminación total de este tratamiento combinado mediante los parámetros de DQO y DBO5.

En el caso de la fotocatalisis heterogénea con TiO₂, se obtiene a pH ácido (2,5) una eficiencia de eliminación de DQO de 43% y a pH muestra (7,6)) se produce una eficiencia de eliminación del 55%. Sin embargo, la relación de biodegradabilidad del efluente a pH ácido (2,5) y muestra (7,6)) varía ligeramente de 0,29 a 0,44 y de 0,29 a 0,47, respectivamente. La máxima biodegradación se alcanza en 30 min de operación.

Por lo tanto, en el sistema combinado POA/SLA se obtiene una eliminación de DQO que varía de 91 a 96%, correspondiente a una velocidad de carga orgánica (VCO) de 0,4 a 1,6 g DQO/Ld. A su vez, el sistema combinado SLA/POA logra una eliminación de DQO de 91% para el proceso de Fenton y de foto-Fenton. Pero con TiO₂ a pH 2,5 y 7,6 la eficiencia de eliminación de la DQO es de 71 % y 77%, respectivamente.

En cuanto a la toxicidad del efluente de pelambre, se encontró que el SLA produce una detoxificación considerablemente para ambas especies (*Daphnia magna* y *Daphniapulex*). El valor de LC₅₀ a 24h y 48h de ser expuesto el organismo en el influente fue de 9%, mientras que del efluente fue de 6%, cuando el sistema operaba a VCO de 3,6 gr DQO/Ld y TRH de 1 d. Por el contrario, en el sistema POA/SLA la detoxificación fue relativa, se observó que el valor de LC₅₀ a 24h y 48h fue de 13% para el influente y de 29% para el efluente. Resultados similares se observaron con *Daphniapulex*. (Nieto, 2002).

- La extracción de metales preciosos a partir de los minerales auríferos, generan impactos ambientales por la utilización del cianuro, el reactivo más común para solubilizar el oro, generándose grandes cantidades de desechos que generalmente no son tratados en su mayoría. El presente trabajo de investigación pretende plantear un tratamiento para degradar el cianuro de sodio presente en el efluente de los procesos de

cianuración por agitación de la empresa CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C., de esta manera se contribuirá al control y mitigación de una de las principales fuentes de contaminación de la minería aurífera. El Cianuro a diferencia de otros compuestos tóxicos es degradable para ello se pretende utilizar radiación solar ultravioleta (UV) para producir compuestos menos tóxicos como nitritos, nitratos o nitrógeno elemental y anhídrido carbónico. Por lo tanto el estudio del presente trabajo de tesis, empieza: En la tesis se detalla detalle generalidades, como son: mineralogía, diagrama de flujos, calidad de aguas, toxicidad del cianuro, el cianuro en soluciones y fundamentos de degradación del cianuro. Además se hace la descripción del proceso de Fotocatálisis Heterogénea, mecanismos, parámetros que influyen en la fotocatalisis, características del reactor solar.

Realizando la exposición del efluente a radiación solar ultravioleta y empleando peróxido de hidrogeno y el dióxido de Titanio se tiene una degradación de hasta 51.32% para el ion cianuro total en 240 minutos, 90.16% en 20 minutos y 91.02% en 240 minutos para los iones de cianuro libre. Cuando se utiliza un menor tiempo exposición, menor cantidad de H_2O_2 y una cantidad de 0.5 g de TiO_2 se tiene que la degradación de hasta 17.88% para los iones de cianuro total y 57.50% en promedio para los iones cianuro libre en 20 minutos de exposición. Por lo tanto, la influencia de la cantidad de H_2O_2 es menor en los iones cianuro libre que en los iones de cianuro total. (Aguilar, 2015).

INTERNACIONAL

- Este estudio pretende aplicar el proceso oxidativo avanzado (POA) heterogéneo TiO_2 / UV en un reactor solar para la degradación del fenol, contaminante orgánico modelo. El objetivo es analizar la influencia en el proceso de remoción de carbono orgánico total (TOC) de los siguientes parámetros de operación: caudal de la suspensión acuosa, concentración del oxidante

auxiliar, radiación, concentración del fotocatalizador y pH. Los resultados apuntan a la existencia de una concentración ideal del fotocatalizador TiO₂ para el proceso en cuestión.

Con el fin de evaluar una alternativa más económica, se construyó un reactor en escala piloto de forma a posibilitar el estudio sobre la efectividad del proceso de degradación de compuestos fenólicos con una fuente de radiación solar.

Para hacer la suspensión de TiO₂ se utilizó agua de la red. Se utilizó también fenol como contaminante modelo a un grado de pureza del 99,0%, con una concentración inicial de 95,0 mg de carbono / L, solución de H₂O₂ 29% m / v, con concentración dependiendo del experimento y TiO₂ Degussa P25. Se utilizaron soluciones acuosas de ácido sulfúrico y de hidróxido de sodio para la corrección de pH y la solución de inhibidor se preparó con KI, Na₂SO₃ y NaOH (0,1 mol / L). Esta última tenía por objetivo degradar el peróxido residual en las muestras. (Adriana et al, 2009).

- En este estudio, se exploró la fotosensibilización del semiconductor TiO₂, mediante un colorante comercial, con el objeto de aumentar sus propiedades catalíticas. Se evaluaron los siguientes parámetros: la concentración de colorante, el tiempo de sensibilización del semiconductor, la cantidad de moles de colorante adsorbidas sobre el semiconductor y el corrimiento de la absorción de la radiación del catalizador modificado hacia la región del espectro visible. Finalmente, se realizaron pruebas de la actividad fotocatalítica del catalizador modificado en la degradación del contaminante modelo (fenol). Se obtuvo una eficiencia de remoción de 33,85% de la concentración inicial de fenol, comparada contra 18,98% usando TiO₂ sin modificar. La fotosensibilización del TiO₂ con colorantes comerciales aparece como una alternativa técnica y económicamente viable, para incrementar las propiedades fotocatalíticas del TiO₂. (Leguizamón et al, 2010).

- Un caso relevante los constituyen los compuestos farmacológicos activos (analgésicos, anti-inflamatorios, antibióticos...) presentes en la mayoría de los efluentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales urbanas (EDAR) y son introducidos continuamente en el medio ambiente. El TiO_2 ha sido el fotocatalizador más ampliamente estudiado en la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, ello es debido a que se trata de un compuesto muy estable, no tóxico, fácil de producir, barato y fotosensible a una fracción del espectro solar.

La actividad fotocatalítica en el estudio comparativo de los TiO_2 se ha evaluado en dos fotorreactores a escala de laboratorio: i) reactor de 1L, tipo slurry semicontinuo, sin recirculación, con forma cilíndrica, situado en el centro de una cámara y rodeado de 10 lámparas fluorescentes como fuente de radiación externa, ii) reactor de 600 mL, tipo slurry con recirculación y provisto de lámpara de inmersión de Hg de alta presión.

Finalmente, una vez estudiada la influencia que tienen las propiedades físico-químicas del TiO_2 en el proceso, se estudió la aplicación de la fotocatálisis solar al tratamiento de efluentes acuosos contaminados por compuestos fenólicos, ácido dicloroacético, distintos pesticidas (alacloro, atrazina, diuron, isoproturon, pirimetanil) y contaminantes emergentes (carbamazepina, ibuprofeno, sulfametoxazol, ofloxacina y flumequina) con catalizadores basados en dióxido de titanio.

Con este objetivo se han empleado colectores Captadores Parabólicos Compuestos (CPC) con aprovechamiento directo de la radiación solar, con los que se ha abordado la eficiencia de los catalizadores con contaminantes de distinta naturaleza química, y se ha comprobado el efecto que tienen los iones inorgánicos, comúnmente presentes en las aguas naturales, en la degradación de contaminantes orgánicos mediante fotocatálisis heterogénea

solar. La eficiencia del proceso fotocatalítico está gobernada por distintos parámetros que afectan a la velocidad de foto-oxidación, entre los que cabe destacar: distribución espectral e intensidad de la radiación incidente, concentración y tipo oxidante, concentración de catalizador, pH del medio y temperatura. En esta tesis doctoral, se ha analizado en primer lugar, la influencia de estos parámetros (extrínsecos al catalizador) en la eliminación de fenol mediante fotocatalisis heterogénea. (Carbajo, 2013).

- Una de las principales causas de contaminación de los recursos hídricos es la presencia de compuestos orgánicos tóxicos. En esta tesis doctoral se ha investigado la fotocatalisis heterogénea como alternativa a los tratamientos convencionales para la degradación de fenol en disoluciones acuosas.

La principal ventaja que presenta esta técnica es la mineralización del contaminante en condiciones de presión atmosférica y temperatura ambiente, con el objetivo de dilucidar los diferentes fenómenos involucrados en la actividad fotocatalítica de estos composites, se procedió a la síntesis, caracterización y evaluación de la eficiencia de fotodegradación de catalizadores mixtos de óxido de titanio inmovilizado sobre diferentes materiales de carbono. Asimismo, y debido al carácter poroso de alguno de ellos, se realizó un estudio pormenorizado del proceso de adsorción en carbones activados con diferente química superficial, para diferenciar así la fracción de fenol adsorbida en el interior de la red porosa, de la fotodegradada, el porcentaje de fenol adsorbido en la superficie de estos fotocatalizadores ($\leq 7\%$) es muy pequeño en comparación con el porcentaje total de contaminante eliminado ($> 68\%$), lo cual simplifica el estudio del proceso de fotodegradación. (Fernández, 2012).

- La fotocatalisis heterogénea es un fenómeno superficial donde, con ayuda de fotones UV, las especies químicas del agua y los lugares superficiales de la partícula semiconductor intercambian

electrones. Debido a ello, es importante analizar el efecto que tiene el hecho de modificar el área superficial del catalizador.

El material que constituye dichas partículas (TiO_2) es un semiconductor, cuya capacidad para generar pares electrón – hueco en presencia de radiación adecuada (ultravioleta) ha sido utilizada desde los años 70 para producir reacciones de fotocátalisis en fase heterogénea. Una de sus aplicaciones más importantes es la del tratamiento de contaminantes persistentes (no biodegradables) mediante lo que se conoce como fotocátalisis solar heterogénea con TiO_2 . La cual utiliza la franja ultravioleta del espectro solar para foto-excitar el catalizador (semiconductor).

La elección de este tipo de óxido y, en particular, del P25 se debe a que éste ha sido el más utilizado en aplicaciones fotocatalíticas ya que es barato, inerte, resistente a la corrosión, reutilizable, etc. Muchos trabajos muestran la alta eficiencia que presenta el TiO_2 P25 como fotocatalizador. Por ello, resulta muy adecuado para su uso en el tratamiento de aguas mediante fotocátalisis heterogénea, y se ha considerado como el de mayor uso potencial en las futuras aplicaciones técnicas de este trabajo. (Ibañez, 2003).

- En este trabajo fue investigada la degradación fotocatalítica de fenol mediante Dióxido de Titanio en suspensión acuosa. Para el seguimiento de la cinética degradativa se utilizó espectroscopia UV – Visible y como parámetro comparativo se utilizó el análisis de Carbono Orgánico Total (TOC); el cuál además demuestra la mineralización completa (hasta CO_2) del contaminante orgánico. El trabajo involucró la modificación del reactor Photo – Crec Water; con el objeto de utilizar el fotocatalizador en suspensión. Se estudiaron variables que afectan el proceso degradativo, entre las cuales podemos citar: Concentración del Fotocatalizador, Velocidad de Flujo, El pH y la Adición de Especies Oxidantes como H_2O_2 .

Se observó que las constantes cinéticas son afectadas por cada una de las variables anteriormente mencionadas. Así podemos destacar el rango de concentraciones que reporta mayor porcentaje de degradación es 0.15 – 0.25 g/L TiO₂. Los mejores rendimientos en la degradación de fenol se presentaron a pH básico (aprox. 8.0); El H₂O₂ presentó un aumento en la constante de velocidad, especialmente a una concentración de 20 ppm.

El análisis cinético mostró que la degradación fotocatalítica de fenol, obedece el modelo de Langmuir –Hinshelwood; lo cual nos condujo a una ecuación cinética de primer orden (pseudo primer orden). (Chávez, 2005).

- El material fotocatalizador más comúnmente empleado para la investigación y aplicaciones industriales es dióxido de titanio (TiO₂). Esto se debe a que es foto estable, químicamente estable, fotoactiva, relativamente barato y no tóxico.

Existen diversas vías para producir nanoestructuras de óxido de titanio, incluyendo sol gel, hidrotermal, oxidación electroquímica de titanio, depósito de vapor químico y deposición por pulverización de plasma. Titania tiene una energía de banda de alrededor de 3.2 eV y por lo tanto es un absorbedor de UV. Cuando son excitados por la irradiación UV, los pares de electrones-agujeros en la titania pueden reaccionar con agua y oxígeno disuelto para formar especies reactivas de oxígeno que pueden atacar contaminantes orgánicos (e inorgánicos) en el agua. Efectivamente, cada partícula excitada se convierte en una célula nano-electroquímica que conduce reacciones redox en la interface. Se puede utilizar dióxido de titanio dispersado nanoestructurado (pero muy probablemente agregado) para el tratamiento y la purificación del agua.

Investigaciones más recientes han demostrado la destrucción fotocatalítica de productos farmacéuticos en agua. Dado que la

fotocatálisis genera especies reactivas de oxígeno incluyendo el radical hidroxilo, el anión del radical superóxido y el peróxido de hidrógeno, es un paso lógico aplicar el tratamiento hacia la desinfección del agua que contiene microorganismos patógenos. De hecho, se ha informado que la fotocatalisis es eficaz contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo bacterias, virus y protozoos. (Byrne, 2009).

- La presente memoria aborda fundamentalmente la eliminación de contaminantes que se encuentran en este último subtipo de aguas y por ello centramos la presente introducción fundamentalmente en este ámbito. Las aguas de origen industrial constituyen la principal fuente de contaminación hídrica, presentan una tipología muy variable que depende principalmente del tipo de industria que la origina y en general, son los vertidos más peligrosos dado que las sustancias emitidas son especialmente tóxicas y contaminantes. Los principales sectores contaminantes son el petróleo, el carbón, las industrias químicas y las derivadas de la celulosa. Así es que una lista de productos contaminantes de las aguas dulces comprendería centenares de sustancias.

En el presente trabajo se ha empleado un método sol-gel, si bien se ha añadido la modificación del empleo de micro emulsiones inversas al objeto de incorporar los dominios de fase acuosa dispersos en ellas como micro reactores de síntesis, para la preparación de sistemas catalíticos basados en TiO_2 y TiO_2 -dopados con hierro. Dicho método ha demostrado ser eficaz en la obtención de catalizadores nano cristalinos, siendo significativa la obtención de una proporción experimental de hierro algo menor de lo esperado únicamente en catalizadores con contenidos de Fe mayores del 3.4% en peso.

Los ensayos de actividad se han realizado tanto a nivel de laboratorio, mediante el empleo de una lámpara de inmersión de alta presión de Hg, como a nivel de planta piloto en reactores

cilíndrico-parabólicos, CPC, adaptados para la utilización de la radiación solar. Por lo que, el objetivo general de este trabajo ha consistido en el estudio comparativo de distintos catalizadores de TiO₂ y/o Fe-TiO₂ en la oxidación fotocatalítica de disoluciones acuosas de fenol y bromuro de etidio en los diferentes sistemas de reacción.

Este fotocatalizador alcanza conversión total de bromuro de etidio y reducciones del 80 % de TOC en torno a los 150 minutos de irradiación en las condiciones de reacción estudiadas, en contraste con otros métodos químicos o biológicos empleados en estudios de la bibliografía. (Delgado, 2008).

- Los fluentes que contienen residuos peligrosos o sustancias orgánicas recalcitrantes se generan en una amplia variedad de procesos industriales. Los procesos oxidativos avanzados han sido el foco de varios estudios en busca de alternativas viables para el tratamiento de aguas residuales conteniendo contaminantes orgánicos tóxicos, o recalcitrantes. En el presente estudio, el proceso foto-Fenton es abordado, con la utilización de luz solar como fuente de fotones.

El estudio consistió en una etapa de experimentos en un reactor solar provisto de colectores parabólicos compuestos (CPC), conectados a un tanque agitado equipado con lámparas eléctricas. Este sistema de operación se utilizó en diferentes configuraciones, como operación en batch o continuo, con variación de área irradiada por luz solar y con variación de la potencia total de las lámparas en el tanque. En la mayor parte de los experimentos, con el reactor operando en régimen batch, más del 90% del carbono orgánico disuelto (COD) fue removido en menos de 3 horas de irradiación solar, un desempeño equivalente al de reactores basados en fuentes de irradiación luz artificial. Los datos experimentales se utilizaron en el ajuste de modelos matemáticos empíricos basados en redes neuronales para simulación de la tasa de remoción de COD en función de las

condiciones experimentales. Este modelo fue combinado con balances de masa, que permite simular el desempeño del reactor para diferentes valores de las variables operativas y de diseño. Los resultados de las simulaciones del modelo mostraron buena concordancia con los datos experimentales para la mayoría de los casos. Además de evidenciar la relación entre las variables de proceso, los resultados obtenidos posibilitan identificar aspectos importantes en el proyecto de reactores basados en radiación solar para tratamiento de efluentes. (Ribeiro, 2009).

- Dentro de las tecnologías de oxidación, la fotooxidación mediante luz ultravioleta, ha pasado de ser una investigación básica a escala de laboratorio a un proceso industrial en el desarrollo y de grandes perspectivas en el campo de la depuración de aguas contaminadas por compuestos de alta toxicidad, o simplemente de difícil eliminación por otros procedimientos.

Estos sistemas se basan en la adición de agentes oxidantes como peróxido de hidrógeno, oxígeno y/o ozono a un agua iluminada mediante luz ultravioleta y con la presencia o no de algún agente catalítico. A pesar de que estos agentes de por sí reaccionan directamente con los contaminantes en el agua, el proceso es mucho más eficiente al absorber radiación ultravioleta y generar radicales reactivos. Estos radicales constituyen un poderoso agente oxidante que virtualmente atacará con posterioridad cualquier compuesto orgánico.

En cuanto a la actividad fotocatalítica se puede observar mejor rendimiento cuántico de eliminación de aromáticos (RCA) en el catalizador Fe15 V30. Un dato a tener en cuenta son los bajos valores de carbono retenido como CO₂, sobre todo si se considera que las reacciones han conducido hasta la completa desaparición de los compuestos derivados de la degradación del Fenol. Como ya quedo apuntando anteriormente, esto podría estar motivado por la presencia de grandes cantidades de CO o fórmico, que no

han podido ser detectadas por el sistema de análisis empleado.
(Cabello, 2000).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. FENOL: También llamado ácido carbólico, ácido fénico, alcohol fenílico, ácido fenílico, fenilhidróxido, hidrato de fenilo, oxibenceno o hidroxibenceno, es una sustancia manufacturada. En forma pura el fenol es un sólido blanco-incoloro, Su fórmula química es C_6H_5OH . Tiene un olor repugnantemente dulce y alquitranado.

Se puede detectar el sabor y el olor del fenol a niveles más bajos que los asociados con efectos nocivos. El fenol se evapora más lentamente que el agua y se inflama fácilmente.

2.2.1.1. Definición:

La molécula de fenol está formada por un radical bencénico y un radical oxhidrilo, este último sustituye un hidrógeno en el benceno. Es un alcohol aromático terciario que lleva el OH (oxhidrilo) en el propio núcleo.

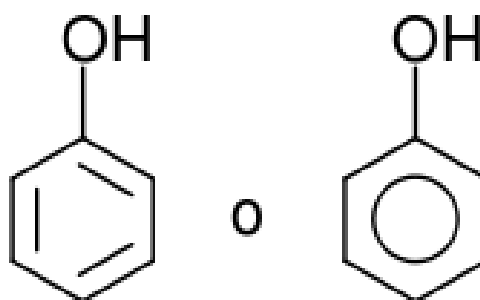


Figura 1: Estructura química del Fenol

El fenol se presenta en cristales incoloros, finos, largos y puntiagudos, o en masa cristalina. El

fenol químicamente puro es inalterable al aire, pero el del comercio absorbe un poco a poco la humedad y al mismo tiempo toma un color rojizo, que ha sido atribuido a la absorción de oxígeno y subsiguiente oxidación producida por este, de pequeñas cantidades de impurezas que el fenol contenga. (Chávez, 2005).

2.2.1.2. Usos del Fenol: Se usa principalmente en la producción de resinas fenólicas (resina sintética termoestable), la manufactura de nylon y otras fibras sintéticas, productos químicos para matar bacterias y hongos en ceno, como desinfectante, antiséptico, y en preparaciones médicas como enjuagadientes y pastillas para el dolor de garganta, medicamentos, plaguicidas, colorantes sintéticos, sustancias aromáticas, aceites lubricantes, solventes entre muchos otros. (Chávez, 2005).

2.2.1.3. Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente: Los fenoles son compuestos que se absorben rápidamente por la inhalación del vapor, en contacto con la piel y por ingestión, alcanzándose una concentración nociva en el ambiente por evaporación de la sustancia a 20° C.

Cuando la exposición a la sustancia es de corta duración, el vapor es corrosivo al contacto con los ojos, la piel y el tracto respiratorio, pudiendo causar graves quemaduras. Por inhalación provoca alteraciones en el sistema nervioso central, el corazón y el riñón, dando lugar a

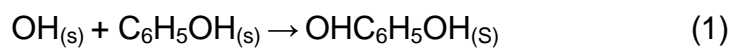
convulsiones, alteraciones cardíacas, fallos respiratorios, colapsos, estado de coma e incluso la muerte.

Respecto de su incidencia con el medio ambiente, es una sustancia nociva para los organismos acuáticos, provocándoles efectos adversos de distinta magnitud en función de la concentración a la que se encuentren expuestos. Esta sustancia está clasificada como Compuesto Orgánico Volátil (VOC) y puede contribuir potencialmente a la formación de ozono troposférico, dañino para los cultivos, la fauna y el hombre. (EUROPEAN CHEMICAL, 2016).

- 2.2.1.4. Reacciones de Oxidación del Fenol: El proceso de oxidación de la molécula orgánica se producirá por los OH superficiales generados en el proceso de transferencia de carga. Hay que considerar que un radical OH unido a la superficie del catalizador, es químicamente equivalente a un hueco atrapado en la superficie.

Muchos intermedios encontrados en la oxidación de compuestos orgánicos aromáticos mediante suspensiones de TiO_2 , son hidroxilados.

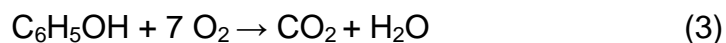
El primer paso de la reacción de fotodegradación del Fenol es la hidroxilación del anillo bencénico. Los intermedios detectados, hidroquinona y pirocatecol, se forman en los estados iniciales de la degradación. De esta forma el Fenol absorbido sobre la superficie del fotocatalizador sería atacado por radicales OH superficiales. (Herman et al, 1993).



El intermedio hidroxilo puede ser oxidado rápidamente por un ataque directo del OH, también cabe la posibilidad de la adición de O₂ para dar especies peroxi radicales,



El proceso de oxidación continúa hasta que Fenol y compuestos intermedios son convertidos a CO₂ y H₂O según la reacción global.



En la figura 2 tenemos el esquema simplificado para la mineralización del fenol que se propone en el presente trabajo.

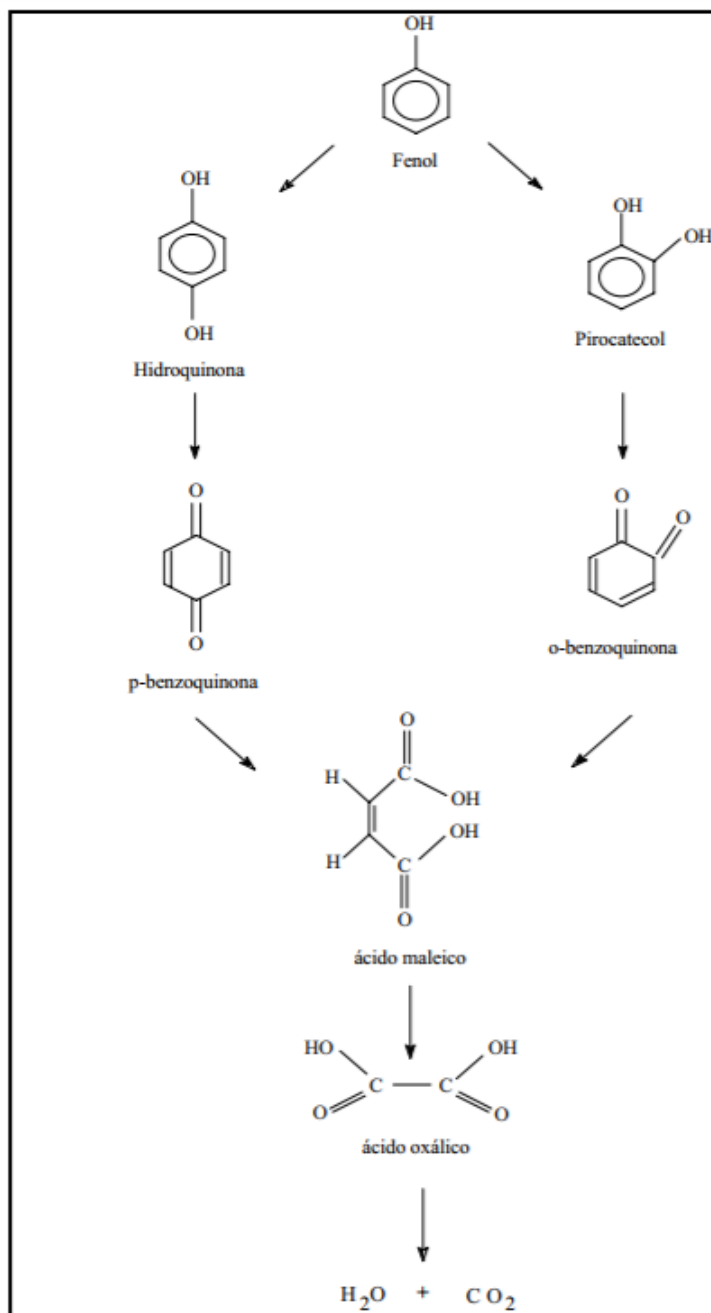


Figura 2: secuencia de reacciones en la oxidación del Fenol.

2.2.2. DIOXIDO DE TITANIO: El TiO₂ por diversas razones que se exponen a continuación, es el semiconductor más utilizado en aplicaciones medioambientales. En primer lugar muchos compuestos orgánicos tienen el potencial de oxidación por encima de la banda de valencia del óxido de titanio, y por este motivo pueden ser oxidados fotocatalíticamente por este

material. En segundo lugar, el potencial redox del par $H_2O/\bullet OH$ se encuentra dentro del dominio del salto de banda del material. Además la elevada resistencia del TiO_2 a la corrosión fotoinducida unida a su bajo coste e inocuidad, hacen que este material sea el más idóneo para su aplicación en los POA basados en fotocátalisis heterogénea, como se muestra en tabla 1.

$TiO_2 + hv \rightarrow e^-_{(BC)} + h^+_{(BV)}$	
En la superficie	$h^+_{(BV)} + Ti^{IV} - OH \rightarrow Ti^{IV}(\bullet OH)$ $e^-_{(BC)} + Ti^{IV} - OH \rightarrow Ti^{III} - OH$
En el interior del catalizador	$e^-_{(BC)} + Ti^{IV} \rightarrow Ti^{IV} - OH$
Recombinación superficial	$e^-_{(BC)} + Ti^{IV}(\bullet OH) \rightarrow Ti^{IV} - OH$ $h^+_{(BV)} + Ti^{III} - OH \rightarrow Ti^{IV} - OH$ $e^-_{(BC)} + h^+_{(BV)} \rightarrow Calor$
Transferencia de carga en la interfase	$Ti^{IV}(\bullet OH) + Red \rightarrow Ti^{IV} - OH + Red \bullet^+$ $Ti^{IV}(\bullet OH) + Ox \rightarrow Ti^{IV} - OH + Ox \bullet^+$

Tabla 1. Reacciones en la superficie del TiO_2 irradiado.

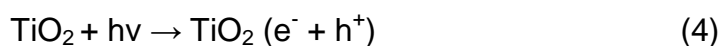
2.2.2.1. Utilización del Dióxido De Titanio: El dióxido de titanio en un polvo blanco utilizado ampliamente en la industria como pigmento para pinturas blancas, material de bloqueador solar y cosméticos, entre muchos otros. Su utilización como fotocatalizador se basa tanto en sus propiedades de semiconductor así como en la posibilidad de obtener en forma de partículas de muy pequeño diámetro y de gran área superficial.

El dióxido de titanio es químicamente y biológicamente inerte, estable a la corrosión química y fotoquímica, siendo solo atacado por el ácido sulfúrico concentrado caliente y por el ácido fluorhídrico concentrado. Por otra parte, el TiO_2 es

de especial interés. (Chemical Safety Facts, 2018).

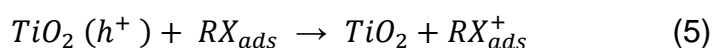
2.2.2.2. Mecanismos de TiO_2 – degradación fotocatalítica: Hoy en día, hay evidencia q el radica OH es la principal especie oxidante responsable de la foto-oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos. Lo primero que ocurre después de la absorción de la radiación ultravioleta cercana a menos de 380 nm es la generación del para electrón-hueco (ecuación 4), separado entre la banda de conducción (BC) y la banda de valencia (BV), como se muestra en la figura 3.

El esquema muestra algunos eventos fotoquímicos y fotofísicos que pueden ocurrir sobre una partícula semiconductor irradiada.



Algunos sucesos que toman lugar después de la adsorción de la luz UV por partículas de TiO_2 y la subsecuente generación y separación de electrones (e_{bc}^-) y huecos (h_{bv}^+) es expresado en la ecuación 5 y la figura 3, las reacciones de oxidación han sido experimentalmente observadas: la transferencia de electrón de RX (Ecuación 5), H_2O (Ecuación 6) y HO (Ecuación 7) absorbido en la superficie del catalizador.

Las ecuaciones (6 y 7) son de gran importancia en los procesos de degradación oxidativo, debido a la alta concentración de HO y H_2O absorbido en la superficie del catalizador.



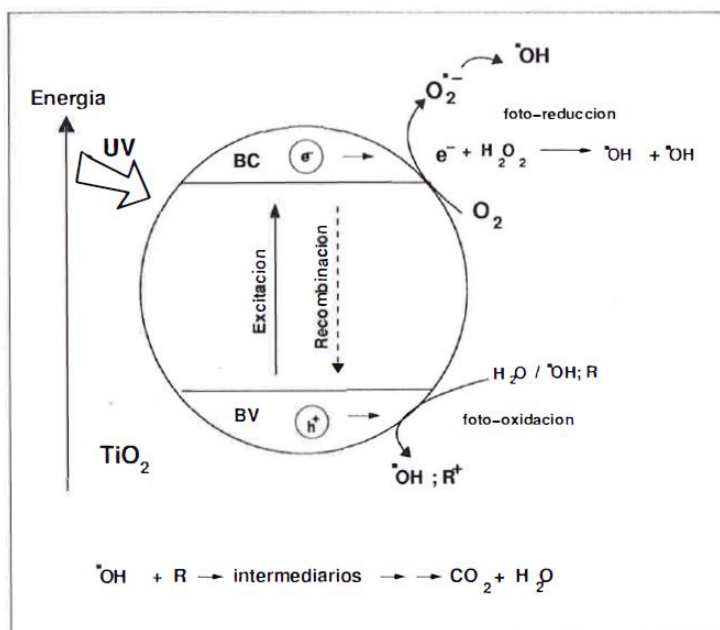
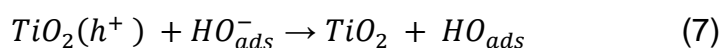
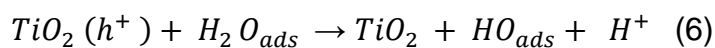
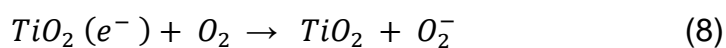


Figura 3: Procesos fotocatalíticos del semiconductor - TiO_2 .

El oxígeno molecular presente en todos los procesos de degradación oxidativo es la especie aceptora, reacciona mediante una transferencia de electrón en la BC (ecuación 8).



Los contaminantes orgánicos absorbidos sobre la superficie de las partículas de dióxido de titanio serán oxidados por los radicales HO.

Entre los contaminantes que ha sido estudiados y que pueden ser degradados mediante el uso de TiO_2 se encuentran los pesticidas herbicidas, hidrocarburos, surfactantes, colorantes y una serie de compuestos inorgánicos como metales pesados, nitritos, cianuros, etc. (Carbajo, 2013).

2.2.2.3. Características del Óxido de Titanio: El dióxido de titanio es un compuesto cuya fórmula es TiO_2 , el cual es utilizado en los procesos de oxidación avanzada, es decir, en la fotocatalisis. Se encuentra en la naturaleza en varias formas rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octahédrica) y brookita (estructura ortorrómbica), como se muestra en la Figura 4. El dióxido de titanio rutilo y el dióxido de titanio anatasa se producen industrialmente en grandes cantidades y son utilizados como pigmento, catalizadores y en la elaboración de materiales cerámicos.

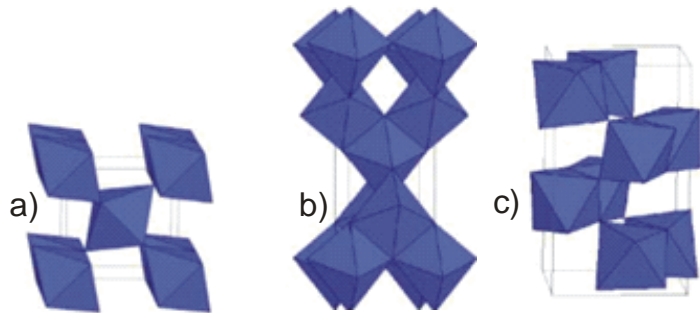


Figura 4. Estructura cristalina de rutilo (a), anatasa (b) y brookita (c).

El dióxido de titanio (TiO_2) tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad, además es el pigmento inorgánico más importante en el ámbito de producción mundial. (Aguilar, 2015).

2.2.2.4. Propiedades del Dióxido de Titanio: El dióxido de titanio (TiO_2) es un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región UV. Es anfótero, muy estable químicamente y no es atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos. Se disuelve

en ácido sulfúrico concentrado y en ácido hidrofúrico.

El TiO_2 es una de las sustancias químicas más blancas que existen, refleja prácticamente toda la radiación visible que llega a ella, además mantiene su color en forma permanente. También es una de las sustancias con índice de refracción alto, por lo cual es opaco, esta propiedad sirve para proteger algo del sol, ya que refleja prácticamente toda la luz, incluso la luz ultravioleta y la que no refleja la absorbe.

Es un fotocatalizador muy eficaz, ya que acelera mucho las reacciones químicas provocadas por la luz.

La estructura cristalina del TiO_2 más estable termodinámicamente es la estructura de rutilo. Sin embargo, la estructura que presenta mayor actividad fotocatalítica es la anatasa, que es utilizada de manera habitual para aplicaciones de descontaminación ambiental. El dióxido de titanio nanométrico con predominio de la fase anatasa, es el material más comúnmente usado en fotocatalisis.

También es el precursor usual en la preparación de catalizadores soportados.

2.2.3. FOTOCATÁLISIS

La fotocatalisis se dedica al estudio de las reacciones fotoquímicas, inducidas por la absorción de fotones, en la superficie de un sólido (fotocatalizador) semiconductor.

La fotocatalisis podría definirse como la aceleración de una fotorreacción por la presencia de un catalizador.

Todos los procesos de degradación se basan en un mecanismo de acción similar, cuando el óxido semiconductor se ilumina con luz de energía superior a su anchura de banda prohibida, se produce un par de electrón-hueco, permaneciendo el hueco positivo en la banda de valencia, al ser un oxidante muy fuerte, reacciona con especies donadoras de electrones (D) en disolución o fase gas (reductoras), generando intermedios activos, mientras que el electrón en la banda de conducción es un reductor moderado, que reaccionara con especies aceptoras de electrones (A) en disolución o fase gas (oxidante). Por tanto deben ocurrir dos reacciones simultáneamente: una oxidación mediada por los huecos y una reducción mediada por los electrones; ambos procesos deben estar correctamente balanceados para que el propio fotocatalizador no sufra cambios. (Monllor, 2010).

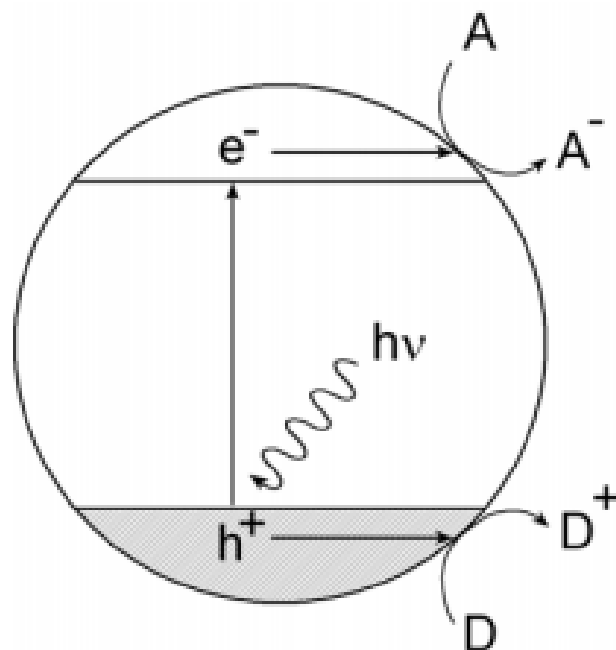


Figura 5. Esquema de los procesos fotoinducidos sobre una partícula semiconductor. h^+ son los huecos en la banda de valencia, e^- los electrones en la banda de conducción, A es una especie aceptora de electrones (oxidantes), D es una especie donadora de electrones (reductor).

2.2.4. FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA:

Es un proceso basado en la adsorción directa o indirecta de energía radiante (UV) por un sólido (Catalizador) Que normalmente es un semiconductor (SC) de banda prohibida. En la zona interfacial entre sólido y la solución tiene lugar las reacciones de destrucción o de remoción de los contaminantes, sin que el catalizador sufra cambios químicos.

En el caso de la fotocatalisis heterogénea, los fotocatalizadores son normalmente particulares de óxidos semiconductores que al absorber luz solar, fotocatalizan diferentes procesos redox. Una de las principales vertientes prácticas de la fotocatalisis heterogénea es la descontaminación; en este sentido, la mayoría de los investigadores están de acuerdo en afirmar que el óxido de titanio es el material más adecuado para llevar a cabo tareas de descontaminación. Sus grandes ventajas sobre otros óxidos consisten en una elevada actividad y estabilidad bajo iluminación continuada, y una baja toxicidad. Además es barato. (Nieto, 2002).

El proceso es heterogéneo porque hay dos fases activas, sólido y líquido. El orbital molecular del semiconductor tiene una estructura de banda. Las bandas de interés en fotocatalisis so las bandas de valencia (BV) de menor energía y las bandas de conducción (BC) de mayor energía, separados por una distancia de energía llamada banda de energía prohibida o ancho de banda óptico.

El semiconductor cuando es iluminado con luz (UV) de mayor energía que la banda prohibida o ancho de la banda óptico. Un electrón es promovido de la BV a la BC, dejando un hueco positivo en la BV: en ese lapso el electrón migra a la superficie y reacciona con especies absorbidas (procesos C y

D). Después de la separación, el par electrón (e^-) y hueco (h^+) que no alcanza a separarse y a reaccionar con especies en la superficie, se recombinan, tanto en la superficie como en el seno de la partícula (procesos a y b, respectivamente) generando calor. El proceso neto es la catálisis de la reacción entre el oxidante A (aceptor de electrones) y reductor D (Dador de electrones). (Nieto, 2002).

A continuación, en la figura 5. Se muestra el esquema de los procesos que ocurren en la interface semiconductor-electrolito cuando es bombardeado con radiación ultravioleta de determinada longitud de onda provocando la transferencia de un electrón desde la banda de valencia de un semiconductor hasta su banda de conducción, produciendo lo que se conoce como par electrón-hueco (e^-/h^+) según:

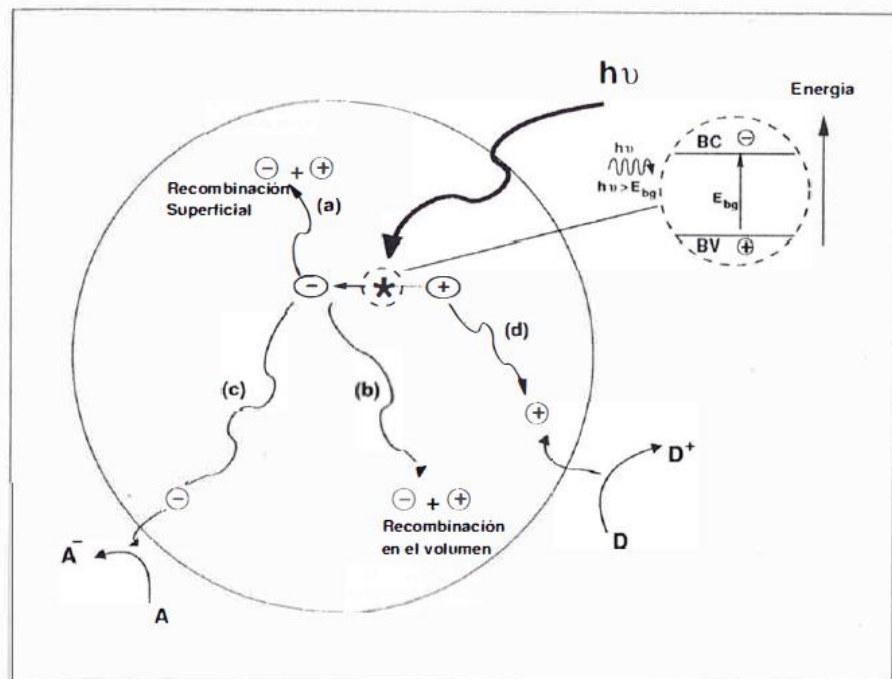


Figura 6. Procesos que ocurren en la interface semiconductor-electrolito bajo iluminación con luz UV.

El potencial redox de la banda de valencia (BV) y banda de conducción (BC) para diferentes semiconductores (SC) varía entre +4,0 y -1,5 voltios vs. El potencial estándar de hidrogeno. Para que las reacciones de oxidación ocurran, la BV debería tener un potencial de oxidación más alto que el matril bajo consideración. Por lo tanto para la selección cuidadosa de un semiconductor (SC) que actúa como fotocatalizador, hay un amplio rango de especies, que puede ser tratado vía estos procesos.

Los óxidos de metales y sulfuros (calcogenuros) representan una gran clase de materiales semiconductores adecuados para propósitos fotocatalíticos. La tabla 2. Presenta una lista de algunos materiales semiconductores, con sus respectivas bandas de valencia, banda de conducción, banda de energía prohibida o anchos de banda óptica y las longitudes de onda requerido para activar el catalizador. (Nieto, 2002).

En la cantidad de semiconductores listados, el TiO₂ ha probado ser el más adecuado y difundido para aplicaciones medio-ambientales, debido a que presenta una elevada estabilidad química que lo hace apto para trabajar en un amplio rango de pH, al mismo tiempo es capaz de producir transiciones electrolíticas por absorción de luz en el ultra violeta cercano (UV-A). Por ello, hoy en día es una d las aplicaciones fotoquímicas que ms interés ha despertado en la comunidad científica internacional.

semiconductor	Banda de Valencia (V vs. NHE)	Banda de Conducción (V vs. NHE)	Ancho de banda Óptico E_g	
			(eV)	nm
TiO ₂	+3.1	-0.1	3.2	387
SnO ₂	+4.1	+0.3	3.9	318
ZnO	+3.1	-0.2	3.2	387
ZnS	+1.4	-2.3	3.7	335
WO ₃	+3.0	+0.2	2.8	443
CdS	+2.1	-0.4	2.5	496
CdSe	+1.6	-0.1	1.7	729

Tabla 2. Posiciones de bandas de algunos semiconductores fotocatalizadores en solución acuosa a pH = 1.

2.2.5. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

2.2.5.1. Longitud de onda e intensidad de la luz: El dióxido de titanio absorbe longitudes de onda inferiores a 400 nm, que corresponden al espectro ultravioleta. Cualquier radiación de estas características tendrá la capacidad de generar en el semiconductor pares electrón-hueco. La distancia de penetración de los fotones dentro de la partícula de TiO₂ es más corta cuanto menor es la longitud de onda ya son absorbidos por las moléculas del semiconductor con más fuerza. Debido a esto el empleo de longitudes de onda más corta (UV-C) generan los pares electrón-hueco más cercana de la superficie, siendo menor el tiempo empleado para la migración de estos pares electrón-hueco hasta la superficie de la partícula y, por tanto, menores las posibilidades para que ocurra la recombinación de los mismos antes de que se produzca en la superficie de la

partícula las reacciones con las especies químicas presentes en el agua. En conclusión el aprovechamiento de la energía absorbida mayor cuanto menor es la longitud de onda empleada. (Leguizamón, 2010).

2.2.5.2. El catalizador: Cuanto mayor sea la dosis del catalizador, mayor será en principio la eficiencia obtenida, si bien el efecto de la turbidez ocasionada por sus partículas también aumenta, dificultando la difusión de la luz ultravioleta. En lo que respecta a su disposición, el dióxido de titanio puede estar en suspensión o inmovilizado.

La utilización de partículas de TiO_2 ocasiona la aparición de sólidos suspendidos, parámetro limitado por la legislación en materia de vertidos. Por lo tanto, es necesario separar las partículas de TiO_2 de las aguas tratadas antes de su vertido o reutilización, siendo éste uno de los principales inconvenientes a la hora de aplicar esta tecnología debido a su reducido tamaño.

Para su separación se pueden usar técnicas de filtración o de decantación. (Nieto, 2002).

2.2.6. PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN:

En los últimos años se ha producido una rápida evolución en el desarrollo de procesos alternativos más eficientes para la protección medio ambiental basados en la destrucción química de los contaminantes. Estos métodos reciben el nombre de Procesos o Técnicas Avanzadas de Oxidación (PAO, TAO) y se basan en la generación de especies muy reactivas, habitualmente a través de procesos catalizados,

capaces de degradar contaminantes recalcitrantes en condiciones de presión atmosférica y temperatura ambiente.

Las TAO's se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. El concepto fue inicialmente establecido por Glaze y colaboradores, quienes definieron los PAO's como procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, principalmente el radical hidroxilo (HO). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica.

Algunas TAO's, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados. La siguiente tabla, presenta un listado de las TAO's, clasificadas en procesos no fotoquímicos y procesos fotoquímicos.

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino (O ₃ /OH ⁻)	Oxidación en agua sub/y supercrítica
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂)	Procesos fotoquímicos
Procesos Fenton (Fe+2/ H ₂ O ₂) y relacionados	Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)
Oxidación electroquímica	UV/peróxido de hidrógeno
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	UV/O ₃
Plasma no térmico	Foto-Fenton y relacionadas
Descarga electrohidráulica - Ultrasonido	Fotocatalisis heterogénea

Tabla 3: Principales procesos de Oxidación avanzada

2.2.7. DIRECT BLUE 199 – DB199:

Azul directo 199 ($C_{32}H_{14}CuN_8Na_2O_6S_2$), la estructura química se muestra en la figura 6. Se utiliza para el teñido de fibra de celulosa y fibra de poliamida, también se puede utilizar para el cuero y el color del papel. (Leguizamón, 2010).

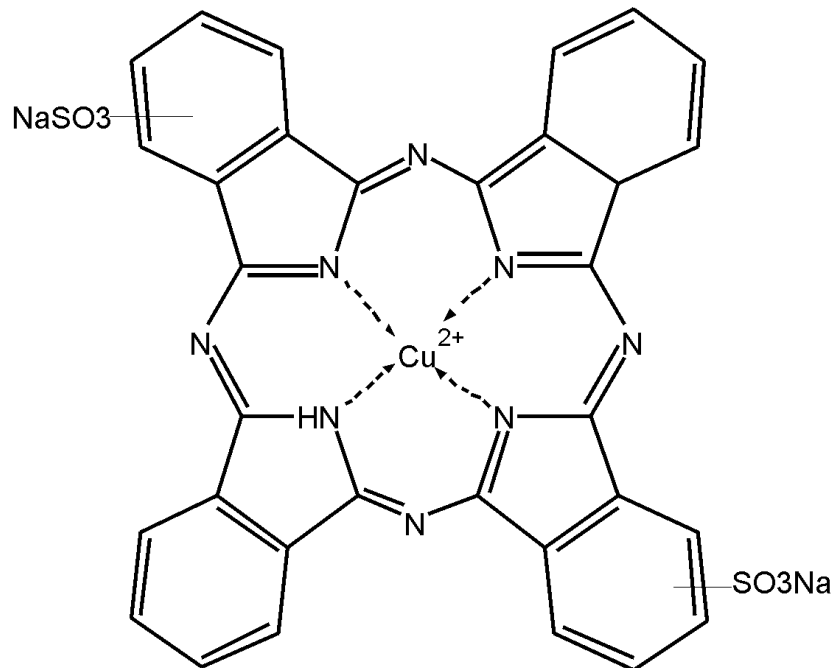


Figura 7. Estructura química del colorante Azul directo 199 (Turquesa Novazol JRLH Conc).

2.2.8. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO – DQO: es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua expresada en mg/L.

Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales. [DIGESA].

2.2.9. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD):

Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

- a. Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
- b. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial). (MINAM, 2015).

2.2.10. AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS (ARND):

Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas, (ARD). (MINAM, 2015).

2.2.11. AGUA RESIDUAL:

Son los desechos líquidos causada por el vertimiento de aguas servidas o negras (urbanos e industriales), de relaves mineros, petróleo, abonos, pesticidas (insecticidas, herbicidas y similares), detergentes y otros productos, todos confluyen a un sistema colector de aguas cloacales y derivan a las fuentes de aguas. (PERU ECOLOGICO, 2012).

2.2.12. FUENTES DE CONTAMINACION DEL AGUA:

La clasificación de las aguas residuales se hace con respecto a su origen, ya que este es el que va a determinar su composición. Siendo los residuos urbanos e industriales los que abarcarían gran parte de los contaminantes

2.2.12.1. Aguas residuales industriales: Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad

minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. (OEFA, 2014).

2.2.12.2. Aguas residuales domésticas: Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente. (OEFA, 2014).

2.2.12.3. Aguas residuales municipales: Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado. (OEFA, 2014).

2.2.13. TIPOS DE CONTAMINANTES:

La contaminación de los cauces naturales se origina por diversas fuentes, las cuales se pueden generalizar en vertidos urbanos, industriales, agroindustriales, químicos, residuos clínicos, etc. Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas. (Fernández, 2010).

2.2.13.1. Contaminantes orgánicos:

- **PROTEÍNAS:** Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios y responsables de malos olores.
- **CARBOHIDRATOS:** Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- **ACEITES Y GRASAS:** Proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a

excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades. (Fernández, 2010).

2.2.13.2. CONTAMINANTES INORGÁNICOS:

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante. (Fernández, 2010).

2.2.14. CONTAMINANTES HABITUALES EN AGUAS RESIDUALES

2.2.14.1. ARENAS: Serie de particular de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento. (Fernández, 2010).

2.2.14.2. GRASAS Y ACEITES: Van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual. (Fernández, 2010).

- 2.2.14.3. **NITRÓGENO Y FÓSFORO:** Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas. (Fernández, 2010).
- 2.2.14.4. **AGENTES PATÓGENOS:** Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades. (Fernández, 2010).
- 2.2.14.5. **OTROS CONTAMINANTES ESPECÍFICOS:** Incluimos sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc. (Fernández, 2010).

2.2.15. CLASES DE AGUAS RESIDUALES

La clasificación se hace con respecto a su origen, ya que este origen es quien va a determinar su composición. Las aguas residuales generadas en los núcleos de población urbanas (aguas residuales urbanas) se dan a consecuencia de las actividades propias de sus habitantes. Estas aguas son:

- 2.2.15.1. **Aguas negras:** Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltos materias coloidales y sólidos en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto ecológico de los últimos

años por la contaminación de los ecosistemas. (PERU ECOLOGICO, 2012).

2.2.15.2. Aguas blancas o de lluvias: Son aguas procedentes de drenajes o escorrentía superficial, caracterizándose por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. Las cargas contaminantes se incorporan al agua al atravesar la lluvia a la atmósfera, o por el lavado de superficies o terrenos. (Muñoz, 2006).

2.2.15.3. Aguas grises: Son las aguas ligeramente sucias provenientes de las bañeras, el lavado y la lavadora. Las aguas grises pueden emplearse para usos que no requieran agua potable: la cisterna del inodoro, en el riego de jardines y limpieza de recintos. (Bravo, 2015).

2.2.16. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Al respecto sobre dichas definiciones habría que señalar que en realidad todo residuo es producto de la actividad humana, directa o indirectamente, por lo que es observable que se mencione a otros desechos provenientes de la actividad humana.

De otro lado, no es común que algún municipio cuente con normas que exijan requisitos de los efluentes descargados en las alcantarillas, por lo que en principio se debe detallar a que requisitos se refiere para posteriormente exigir que exista la normatividad pertinente.

Los componentes y variables físicas, químicas y biológicas que tienen las aguas residuales, como se muestra en tabla 4.

CARACTERÍSTICAS	VARIABLES	PROCEDENCIA
Propiedades Físicas	Color	Aguas Residuales (AR) domesticas e industriales, desintegración natural de materiales orgánicos.
	Olor	AR en descomposición, vertimientos industriales.
	Solidos	Aguas de suministros, AR domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexión incontroladas.
	Temperatura	AR domesticas e industriales
Constituyentes Químicos		
Orgánicos	Carbohidratos	AR comerciales e industriales
	Grasa animal y aceite	AR domésticas, comerciales e industriales
	Pesticidas	Residuos agrícolas
	Fenoles	Vertidos industriales
	Proteínas	AR domésticas y comerciales
	Agentes termo activos	AR domesticas e industriales
	otros	Desintegración natural de materiales orgánicos
Inorgánicos	Alcalinidad	AR domésticas, agua de suministros, infiltración de aguas
	Cloruros	Agua de suministro, AR doméstica, infiltración de aguas subterráneas.
	Metales pesados	Vertimientos industriales, AR domésticas y residuos agrícolas
	Nitrógenos	AR domésticas y residuos agrícolas
	PH	Vertimientos industriales
	Fosforo	AR doméstica, industriales, escorrentía industrial
	Azufre	Aguas de suministro, aguas residuales, domesticas e industriales
	Compuestos tóxicos	Vertidos industriales
Constituyentes gaseoso	Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de AR domésticos
	Metano	Descomposición de AR domésticos
	oxigeno	Aguas de suministros, infiltración de agua superficial

Tabla 4. Componentes y variables que presentan las aguas residuales.

2.2.17. ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA):

El Estándar de Calidad Ambiental es legalmente “la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”, los ECA para agua están orientados a proteger el ambiente y la salud y establecen objetivos de calidad que deben ser cumplidos por los diversos titulares de actividades económicas de diversos sectores, y contienen parámetros para determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas constituye una fuente idónea para sustituir recursos de primera en usos que no requieren un grado de calidad tan alto. Muchas aplicaciones urbanas, comerciales, industriales y por supuesto agrícolas, pueden satisfacerse con calidad inferior a la potable, el riego de césped y parques de las vías públicas. Se pretende reutilizar el agua residual alcanzando una categoría para riego de vegetales de tallo alto y bajo de modo que no representan riesgo significativo a la salud de las personas ni para el ambiente. (MINAM, 2015).

En el Perú, desde la Ley de Aguas (Decreto Ley N° 17752 de 1969), con la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338 del año 2009) y ECA (decreto Supremo N° 004-2017-minam), se señala que los ECA de Agua deben fijarse en función a las categorías determinadas en relación al uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua como se muestra en la tabla 5.

Categoría	Descripción	Sub-categoría	Descripción
Categoría 1-A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección
		A2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional
		A3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
Categoría 1-B	Aguas superficiales destinadas a recreación	B1	Contacto primario
		B2	Contacto secundario
Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	Agua de mar	C1	Extracción y cultivos de moluscos bivalvos
		C2	Extracción y cultivos de otras especies hidrobiológicas
		C3	Otras actividades
	Agua continental	C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Parámetros para riego de vegetales	D1	Riego de cultivo de tallo alto y bajo
	Parámetros para bebida de animales	D2	Bebida de animales
Categoría 4	Conservación de ambiente acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2: Ríos	Ríos de costa y sierra
			Ríos de selva
		E3: Ecosistemas marino costeras	Estuarios
Marinos			

Tabla 5: Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

En el caso de aguas para riego de vegetales y bebidas de animales (Categoría 3) se han adoptado las correspondientes

a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); así como a la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA). (MINAM, 2017).

2.2.18. PARÁMETROS Y VALORES CONSOLIDADOS

- ✓ Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales
- ✓ Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto.

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallos bajos), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallos altos), tales como árboles forestales, frutales, entre otros, como se muestra en la tabla 6. (MINAM, 2017).

CATEGORÍAS		ECA AGUA: CATEGORÍA 3		
PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	D1: RIEGO DE VEGETALES		D2: BEBIDA DE ANIMALES
		Agua para riego no restringido (C)	Agua para riego restringido	Bebida de Animales
FISICO – QUIMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro wad	mg/L	0.1		0.1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero escala P/Co	100(a)		100(a)
Conductividad	(uS/cm)	2500		5000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2		0.5
Fenoles	mg/L	0.002		0.01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos	mg/L	100		100
Nitritos	mg/L	10		10
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥4		≥5
Potencial de hidrogeno PH	Unidad de PH	6.5 – 8.5		6.5 – 8.4
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	▲3		▲3
INORGANICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0.1		0.2
Bario	mg/L	0.7		**

Continúa...

Berilio	mg/L	0.1	0.1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0.01	0.05
Cobre	mg/L	0.2	0.5
Cobalto	mg/L	0.05	1
Cromo total	mg/L	0.1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	0.001	0.01
Níquel	mg/L	0.2	1
Plomo	mg/L	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.02	0.05
zinc	mg/L	2	24

Tabla 6: ECA Agua - Parámetros y valores de la categoría 3.

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **CALIDAD DEL AGUA:**
Depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Se define por su uso final. (ONU, 2014).
- **NANOPARTICULA:**
Partícula que cuenta con una o más dimensiones en el rango de 0.1 milésimas de milímetro (100 nanómetros) o menos. (GREENFACTS, 2017).
- **CONTAMINACIÓN DEL AGUA:**
Incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. (BANREPCULTURAL, 2015).
- **FOTOCATÁLISIS SOLAR:**
Una de las principales ventajas de la fotocatalisis heterogénea es la posibilidad de aprovechar la radiación solar. Sin embargo, a diferencia de la luz artificial, la intensidad de la radiación solar no es constante ya que se ve afectada por factores meteorológicos, varía diariamente y estacionalmente, y depende de la localización geográfica. (NARVAEZ, 2012).
- **RADIACION:**
En la radiación solar global que llega a la superficie de la tierra se pueden distinguir tres componentes: radiación directa, difusa y reflejada. La radiación solar directa es la que no sufre interacciones al atravesar la masa atmosférica, la radiación difusa llega a la superficie con una dirección distinta a la de la directa debido a los procesos de absorción y dispersión de luz

que tienen lugar a su paso por la atmósfera, y finalmente la radiación reflejada, o albedo, es la radiación que llega a una superficie determinada tras su reflexión previa en el suelo. Los dos componentes que mayor importancia tienen para su uso en fotocátalisis son la radiación directa y difusa. En este sentido, la intensidad de la radiación UV está sometida a variaciones provocadas por las condiciones climatológicas cambiantes, siendo el factor más atenuante en la región UV la presencia de nubes. (INZUNZA, 2005).

- **FENOL:**

Entre los distintos contaminantes destaca el fenol, cuya estructura está formada por un anillo bencénico con un grupo alcohol. Se trata de un contaminante “modelo” frecuentemente presente en los vertidos industriales, y su uso es habitual en la industria petroquímica, química y farmacéutica.

La exposición prolongada a compuestos fenólicos paraliza el sistema nervioso central y produce lesiones renales y pulmonares en los seres vivos. Además de ser tóxico, el fenol puede derivar en la formación de otros compuestos sustituidos (clorados y nitrogenados) de mayor toxicidad, y resulta difícilmente biodegradable por lo que su vertido a la red de saneamiento está limitado a 2 mgL. (REY A, 2010).

- **PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL FENOL:**

El fenol puede entrar al cuerpo humano a través de aguas contaminadas, comidas u otros productos que contengan compuestos fenólicos. Es fácilmente absorbido a través de la piel, o las mucosas, particularmente por el tracto gastrointestinal e igualmente puede ser inhalado con el aire o el humo. La cantidad de fenol que ingresa al cuerpo depende de la forma como esté presente y del tiempo de exposición. No obstante, el fenol puede eliminarse del organismo por vía urinaria, después

de su oxidación o conjugación con ácido sulfúrico o glucónico como se muestra en la tabla 7.

Formula empírica	C ₆ H ₆ O
Masa molecular	94,11g
Densidad	1,07 g/cm ³ a 20 °C
Punto de ebullición	181,75 °C
Punto de fusión	40,8 °C 0,2 hPa a 20 °C
Presión de vapor	3,5 hPa a 50 °C 54 hPa a 100 °C
Punto de inflamación	82 °C
Temperatura de autoignición	595 °C – 715 °C
Límites de explosividad	1,7 - 8,6 %V En agua: 7,9 ppm (p/v)
Umbral de olor	En aire: 0,040 ppm (p/v) En agua: 82 g/L
Solubilidad	Se disuelve fácilmente en alcohol, éter, cloroformo, grasas y aceites esenciales.

Tabla 7: Propiedades Físico- químicas del Fenol.

- EL TiO₂: El dióxido de titanio (TiO₂) el semiconductor que ha recibido mayor interés en la investigación y desarrollo para su aplicación en fotocatalisis heterogénea. En este sentido, el TiO₂ presenta, entre otras ventajas deseables, un coste moderado o bajo debido a que el titanio es un elemento abundante en la corteza terrestre (0.44 % de la corteza terrestre), por lo que el TiO₂ es utilizado en una gran cantidad de productos como pigmentos, protecciones solares, pinturas, pasta de dentífrica, etc. Además presenta una actividad fotocatalítica relativamente alta, estabilidad frente a la foto-corrosión (estabilidad fotoquímica), es inerte químicamente y su toxicidad es baja

Normalmente se definen tres tipos de estructuras cristalinas del TiO₂: brookita, anatasa y rutilo. Las dos últimas parecen ser las más activas desde el punto de vista fotocatalítico, y han sido sin duda las más estudiadas. (Leguizamón, 2010).

- **CONCIENCIA AMBIENTAL:** Es el nivel de conocimientos o de nociones elementales que tiene la población con respecto al ambiente, y que puede manifestarse en cierto grado de preocupación, interés, cuidado o temores frente a la problemática ambiental, la que se debe proteger y usarse racionalmente en beneficio del presente y el futuro de la humanidad. (Bravo, 2015).
- **TRATAMIENTO DE AGUAS:** conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales, en el caso de las urbanas, aguas negras, la finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final. (Rovirosa, 2010).
- **DESCONTAMINACIÓN:** Someter a tratamiento lo que está contaminado, a fin de que pierda sus propiedades nocivas. (RAE, 2014).
- **ECOLOGÍA:** La ecología biológica estudia las relaciones de los organismos con su medio, animado o no, considera ante todo, los distintos biotopos y biocenosis y analiza las funciones vitales en su medio o lugar natural. La ecología humana analiza la estructura y la función de la especie “hombre” en sus relaciones con el entorno. (Molina, 1990).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPOTESIS GENERAL:

H₁: Con la utilización de diferentes concentraciones de nanopartículas de TiO₂ en un proceso fotocatalítico heterogéneo se puede evaluar el grado de eliminación del fenol en aguas residuales domésticas en el laboratorio de la Facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de Ingeniería del año 2017.

H₀: Con la utilización de diferentes concentraciones de nanopartículas de TiO₂ en un proceso fotocatalítico heterogéneo no se puede evaluar el grado de eliminación del fenol en aguas residuales domésticas en el laboratorio de la Facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional del Ingeniería Octubre - Diciembre 2017.

2.4.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS:

- H₁: Con las diferentes concentraciones de TiO₂ se puede estudiar el efecto de degradación del fenol.

H₀: Con las diferentes concentraciones de TiO₂ no se puede estudiar el efecto de degradación del fenol.

- H₂: En el proceso de fotodegradación del fenol se puede evaluar la influencia de los catalizadores mixtos de TiO₂, comparando los resultados con los parámetros.

H₀: En el proceso de fotodegradación del fenol no se puede evaluar la influencia de los catalizadores mixtos de TiO₂, comparando los resultados con los parámetros.

- H₃: En el proceso de fotodegradación del fenol se puede evaluar la calidad del efluente utilizando nanopartículas de TiO₂ antes y después del tratamiento.

H₀: En el proceso de fotodegradación del fenol se puede evaluar la calidad del efluente utilizando nanopartículas de TiO₂ antes y después del tratamiento.

- H₄: Con el número de usos del catalizador se puede evaluar la variación de la actividad fotocatalítica.

H₀: Con el número de usos del catalizador no se puede evaluar la variación de la actividad fotocatalítica.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Eliminación del fenol

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Nanopartículas de TiO₂.

2.6. OPERACIONES DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

TESISTA: Santiago Talenas, Jazmín Carolina

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	UNIDADES
DEPENDIENTE Eliminación del fenol	AMBIENTAL	Monitoreo de los parámetros analizados en el tratamiento de agua residual doméstica.	Mg/ L
		Estándar de Calidad Ambiental (ECA)	
INDEPENDIENTE Nanopartículas de TiO ₂ .	AMBIENTAL	Concentraciones de TiO ₂ (50;100;150 mg/L)	Mg/ L
		Tratamiento por catalizador (TiO ₂ -nano; TiO ₂ -nano-DB199).	

Tabla 8: Variables, Dimensiones e indicadores que se realizaran en el proyecto.

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se consideró en el proyecto fue la Investigación mixta ya que:

- La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales. (Hernández, 2010).
- Se indagó, se recolectó información cuantitativa y cualitativa se analizó y se convirtió en conocimiento para luego, realizar el análisis del medio contaminado simulado con el compuesto orgánico Fenol, antes y después del tratamiento con el catalizador (nano partículas de TiO_2) a diferentes concentraciones.

3.1.1. Enfoque

Esta investigación es de tipo mixta, se obtuvo resultados válidos que afirmaron a los objetivos inicialmente planteados.

Este proyecto se llevó a cabo en la sala de investigación C4-153 del laboratorio N°11 de Físicoquímica de la FIQT de la Facultad de Ingeniería química y textil de la universidad Nacional de Ingeniería.

Se simuló un medio contaminado con desechos orgánicos (fenol) para evaluar la capacidad de acción de tratamiento de las nanopartículas de TiO_2 a estudiar, el proceso del tratamiento de agua residual domiciliaria, traerá consecuencias positivas en el ámbito social, económico, ambiental.

Se consideró informaciones archivadas, las cuales describen los problemas que vienen ocurriendo a diario en el ámbito nacional desde años atrás y que afectan a la calidad del

medio ambiente, se consideró el apoyo técnico por parte de especialistas del tema en investigación.

3.1.2. Alcance o Nivel

3.1.2.1. ALCANCE

El alcance de esta investigación fue Explicativo, Descriptivo y Experimental.

El trabajo de investigación “Estudio de la viabilidad del uso de Nanopartículas de dióxido de titanio en el tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel laboratorio en la facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería Octubre - Diciembre 2017” fue un proyecto de método mixto.

El tratamiento de aguas residuales domésticas con nano partículas de TiO_2 , influirá en mejorar la calidad de vida de los seres vivos, lo cual contribuye en manera positiva reduciendo la contaminación en los cuerpos naturales de aguas superficiales, conservando y preservándolo.

3.1.2.2. NIVEL

El nivel de la investigación fue Descriptivo, ya que nos permite analizar, medir y evaluar la Demanda Química de Oxígeno (DQO), que es un elemento determinante de la calidad del agua a tratar.

Además, nos permitió describir y conocer sistemáticamente el trabajo de investigación y su impacto ambiental.

3.1.3. DISEÑO

El diseño que se utilizó para el trabajo de investigación fue el diseño mixto, porque se analizaron datos numéricos referentes a los catalizadores y las concentraciones según lo establecido en la tabla 9. Se plantearon dos casos de estudio en los cuales se emplearon aguas residuales modelo echas en el laboratorio, esto debido a que se quería saber si el TiO_2 actuaba en la degradación del Fenol.

Las muestras para observar la DQO fueron tomadas antes y después del tratamiento.

3.1.3.1. ESQUEMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo estadístico seleccionado fue el de Anova factorial con efectos fijos y aleatorio, el cual permite visualizar la respuesta de factores y sus niveles de interés, evaluando la sensibilidad de estos en el tratamiento. Una de sus principales ventajas comparado con otros modelos que relacionan una variable a tres niveles: entrega un número mínimo de ensayos experimentales (12 experimentos), lo que hace que este diseño sea práctico desde el punto de vista económico y del tiempo empleado para su ejecución.

El programa, en este caso es el SPSS 8.0, se encarga aleatoriamente de dar el nivel intermedio para cada una de las variables utilizadas: concentración de TiO_2 (g/l) y tipo de catalizador.

3.1.3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental constó de dos factores; dos catalizadores y tres niveles de concentración de TiO_2 y tres replicas para un total de 6

combinaciones y 18 respuestas, cada respuesta con dos muestras cada uno haciendo un total de 36 muestras más 6 blancos para cada bloque, la variable de respuesta fue el porcentaje de remoción de fenol, evaluado de acuerdo con la ecuación (12)

$$\% \text{Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (12)$$

Dónde:

C_f = Concentración final de Fenol

C_i = Concentración Inicial de Fenol

3.1.3.3. EQUIPOS Y ANÁLISIS

Se utilizó un fotoreactor modificado, el cual tiene un fluorescente UV de 19.6 cm de largo y diámetro 1.5cm la fuente de luz UV de longitud de onda 245nm.

El fluorescente está recubierto por un tubo de cuarzo de largo 20.1 cm y diámetro 2.2 cm de longitud el cual protege a la lámpara cuando está dentro del efluente.

El equipo está compuesto por un vaso precipitado de longitud 26cm y diámetro 13 cm, el volumen iluminado es de 1 litro, el fotoreactor modificado opera de modo batch, como se muestra en la figura 7, las mediciones de las absorbancias para DQO es en la región visible (620nm) tanto para la muestra original como para la tratada.

Para determinar la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, se recurrió a la medición DQO.



Figura 8: fotoreactor modificado para el tratamiento del fenol, tipo bach.

3.2. Muestra total y Tamaño de muestra

3.2.1. Muestra total

Este proyecto seguirá un factorial (del diseño de experimentos) con dos factores; tipo de catalizador (2 tipos) y concentración (3 niveles), haciendo 6 muestras, cada muestra va a tener dos sub muestras (Muestra inicial y muestra final); resultando esto 12 tratamientos, con 3 repeticiones cada tratamiento, se va a adicionar 1 blancos para cada muestra (6 blancos), haciendo un total de 42 muestras como se detalla a continuación en el tabla 9, el área del trabajo de investigación se encuentra ubicado en las coordenadas UTM en WGS-84: E: 277090 , S: 8670134.

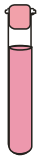
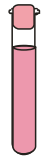



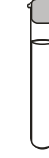
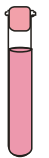
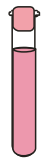



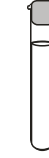
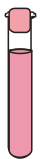
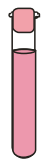



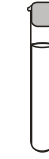
Concentración	TiO ₂ Nano		BLANCO	TiO ₂ Nano + DB199		BLANCO
	INICIAL	FINAL		INICIAL	FINAL	
50 mg/L						
100 mg/L						
150 mg/L						

Tabla 9: muestra total del proyecto, 12 tratamientos y 6 blancos. (Fuente: elaboración propia)

3.2.2. Tamaño de Muestra

Consideraremos el mínimo de muestras representativas para el estudio del proyecto, siendo estas en números de 12. Es decir cada uno de los dos catalizadores con tres concentraciones diferentes dará un mínimo total de muestras igual a 18, que se muestra en el Tabla 10.

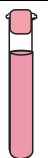
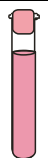


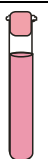
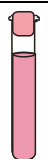


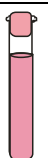
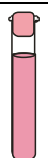


Concentración	TiO ₂ Nano		TiO ₂ Nano + DB199	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
50 mg/L				
100 mg/L				
150 mg/L				

Tabla 10: tipos de catalizadores y concentraciones diferentes.

3.3. Técnicas e instrumento de recolección de datos

3.3.1. TÉCNICAS: El procedimiento a seguir para la evaluación de la viabilidad del uso de catalizador TiO_2 en escala nanométrica se describen a continuación:

3.3.1.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el planteamiento de la hipótesis del presente trabajo de investigación, se indica que es posible la degradación del Fenol la cual será evaluado por la DQO, por lo tanto, el desarrollo de las pruebas experimentales se limita únicamente al proceso de la degradación por fotocátalisis heterogénea del compuesto orgánico Fenol y específicamente a determinar la influencia de las variables, como la cantidad de concentración de TiO_2 en el proceso de degradación y los catalizador TiO_2 nano y TiO_2 + DB199, un colorante comercial, con el objeto de aumentar sus propiedades catalíticas; en la figura 8 se muestra los dos catalizadores que se utilizaron en los experimentos.

Así mismo el desarrollo experimental permitió verificar los antecedentes bibliográficos y los conceptos teóricos que se han analizado en los capítulos anteriores, así como la hipótesis planteada en el presente trabajo.



Figura 9: lado izquierdo el TiO_2 nano, el lado derecho el colorante DB199.

3.3.1.2. EQUIPAMIENTO

Las pruebas experimentales y los análisis químicos se desarrollaron en la sala de investigación C4-153 del laboratorio N°11 de Fisicoquímica de la FIQT de la Facultad de Ingeniería química y textil de la universidad Nacional de Ingeniería, los equipos se muestran en la figura 9, figura 10 y figura 11.



Figura 10: lado izquierdo la incubadora, donde se digesta las muestras y el lado derecho el espectrofotómetro, donde se hacen las medidas de absorbancia, transmitancia y ppm.



Figura 11: El lado izquierdo la centrifugadora, para decantar al TiO_2 y el lado derecho el pH-metro para medir el potencial de Hidrogeno.



Figura 12: El lado izquierdo la balanza analítica, y el lado derecho el agitador magnético.

3.3.1.3. FOTOREACTOR - MODIFICADO

El fotoreactor el cual se modificó para su uso en este proyecto consistió de un recipiente de vidrio circular de 13 cm de diámetro por 26 cm de longitud forrado con papel aluminio, este es la recepción de los rayos UV, el papel aluminio es la superficie reflejante para que los rayos UV no salgan al exterior y también no se produzca la exposición a este durante el tratamiento. El fotoreactor modificado es sobrepuesto a un agitador magnético, la tapa para el foto reactor esta forrada con papel aluminio y cinta aislante, consta de dos agujeros uno de 2.2 cm y 1 cm de diámetro, el más grande es el soporte para la lámpara UV-Vis eléctricas de 245nm y el más pequeño es para la toma de muestra, el sistema de trabajo es en condición batch, el sistema de trabajo es en condición batch, la alimentación es cargada al comienzo de la operación.

En la Figura 12, se observa esquemáticamente la disposición de los dos fotoreactores, al lado izquierdo es el fotoreactor sin modificar y en el derecho es el fotoreactor modificado para el tratamiento del efluente en esta tesis.



Figura 13: a) fotoreactor sin modificar; b) Fotoreactor modificado recipiente de vidrio circular de 13 cm de diámetro y 26 cm de longitud forrado con papel aluminio.

El montaje experimental para la degradación fotocatalítica del contaminante orgánico a escala laboratorio se muestra en la figura 13, un esquema elaborado para degradar la concentración del contaminante orgánico.

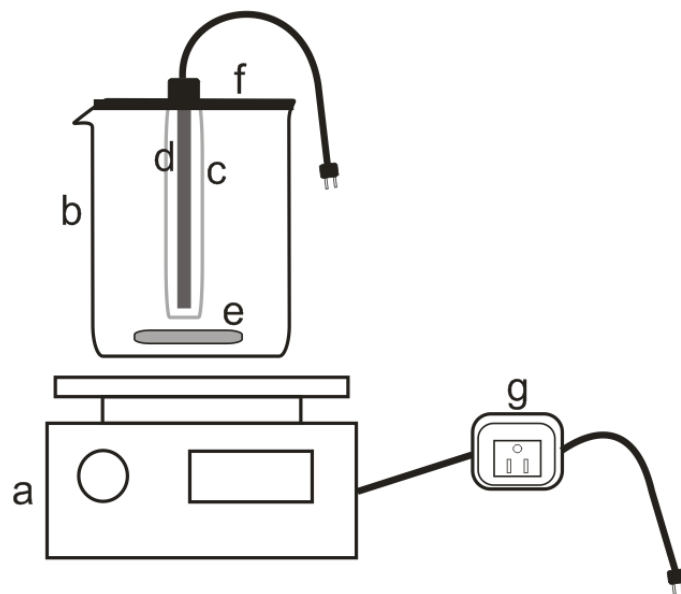


Figura 14: Dónde: a) Agitador magnético, b) Fotoreactor, c) Tubo de cuarzo, d) lámpara UV-Vis, e) barra magnética, f) Tapa del fotoreactor, g) transformador del agitador magnético.

3.3.1.4. ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO

En la Figura 14, se puede observar el diagrama de bloque el cual esquematiza las etapas del desarrollo de las pruebas experimentales. En el fotoreactor modificado se coloca la muestra que serán expuestas a radiación ultravioleta, considerando el tiempo planeado para cada muestra, para su evaluación y comparación de resultados.

Las muestras van a sufrir un ligero incremento de temperatura por efecto de la radiación y de la reacción química. Se prevee que el tiempo de exposición es de 180 minutos por prueba. Se realizaron las pruebas por triplicado, con el fin de obtener repetibilidad en los resultados.

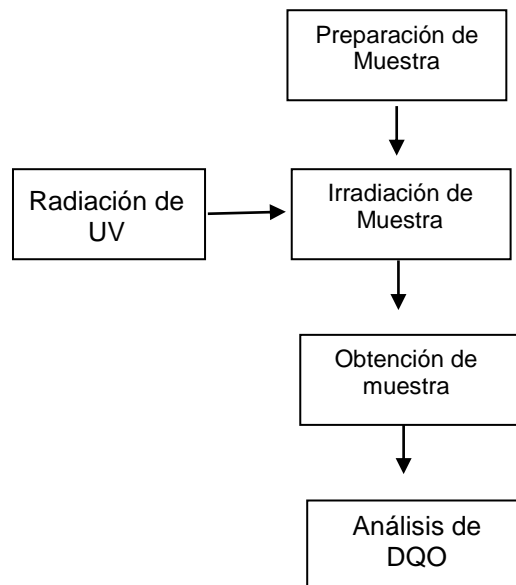


Figura 15: Esquema del proceso

3.3.1.5. PREPARACIÓN DE MUESTRA

La primera solución artificial Fenólica va a tener: 1000 gr/L de fenol (C_6H_5OH) y 1 litro de agua destilada que se agitará hasta obtener una solución homogénea con una coloración rosácea como se muestra a continuación en la figura 16.



Figura 16: primera solución artificial fenólica, coloración rosácea.

La segunda solución artificial Fenólica va a tener: 1000 gr/L de C_6H_5OH , 1 litro de agua destilada y 0.05gr de DB199, se agitará hasta obtener una solución homogénea con una coloración turquesa claro como se muestra a continuación en la figura 17.



Figura 17: Segunda solución artificial, fenol y DB199, coloración turquesa.

Se tomará todo el volumen y se verterá en el fotoreactor modificado, enseguida se adhiere la concentración de TiO_2 como se muestra en la figura 18, luego se tomó 10ml para cada prueba experimental, se preservó las muestras para su análisis posterior.



Figura 18: fotoreactor modificado conteniendo la muestra y el catalizador TiO_2 .

3.3.1.6. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para la realización de cada ensayo se preparó 1 litro de muestra en un recipiente limpio, y luego se procedió al tratamiento con el sistema fotocatalítico, quedando el fluido en recirculación constante durante 3 horas. Se retiraron 10 mL aproximadamente para su posterior análisis.

El tipo de catalizador y la concentración de catalizador fueron establecidos para cada ensayo.

Todas las pruebas tienen los mismos procedimientos. Las pruebas que se realizan son en sistema batch.

El procedimiento de adición del TiO_2 nano en el sistema es el siguiente:

- Pesar en la balanza electrónica 1000 gr/L de $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
- En un matraz aforado colocar los 1000 gr/L de $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ya pesados.
- Enrasar el agua destilada hasta el menisco del matraz.
- Homogenizar la solución.
- Verter la solución preparada en el fotoreactor modificado.
- Colocar la barra magnética dentro del fotoreactor modificado.
- Colocar el fotoreactor en el agitador magnético.
- Asegurar la lámpara UV a la tapa, para evitar quemaduras y/o derrames, colocarlo en el equipo.
- Encender el equipo y dejar la solución muestra en exposición de la luz UV-vis de acuerdo al tiempo planificado.
- Apagar el equipo y extraer con una pipeta graduada de 10ml la solución cumplido el tiempo de muestreo.
- Preservar la muestra y almacenar para su posterior análisis correspondiente.
- Llevar las muestras a una centrifuga para la decantación de las nanopartículas de Dióxido de titanio.

- Se extrae con una pipeta la muestra y se coloca en otro tubo de ensayo para ser filtrado en micro filtro millipore de 0.45 μm .

Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

- Se toma 2,5 ml de muestra previamente filtrada.
- Se coloca en un tubo de digestión.
- Se cierra herméticamente, se agita cuidadosamente el tubo para homogenizar el producto.
- Se lleva al reactor de digestión durante 2 horas a 150°C.
- Se deja enfriar el tubo hasta temperatura ambiente
- Se mide la absorbancia a 620 nm en un espectrofotómetro. En forma paralela se somete a digestión un blanco de reactivo, que contiene agua destilada como muestra y los mismos pasos mencionados anteriormente.

Para el procedimiento del TiO_2 nano + DB199, se agrega al matraz aforado 0.05 gr de DB199 y se pesa en la balanza electrónica 1000 gr/L de $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, luego se enrasa el agua destilada hasta el menisco del matraz, se homogeniza la solución, se vierte la solución preparada en el fotoreactor modificado, se asegura la lámpara UV a la tapa, para evitar quemaduras y/o derrames, colocarlo en el equipo, se extrae con una pipeta

graduada de 10ml la solución cumplido el tiempo de muestreo, se llevan las muestras a una centrifuga para la decantación de las nanopartículas de Dióxido de titanio, luego se extra con una pipeta la muestra y se coloca en otro tubo de ensayo para filtrarlo por un micro filtro millipore de 0.45 μm .

Para la Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) tiene el mismo procedimiento anterior del TiO_2 nano.

En las pruebas experimentales se utilizó los equipos y materiales que se muestran en la tabla 11.

EQUIPOS	MARCA Y DESCRIPCION
Balanza Analítica	Ohaus Pioneer Analytical
pHmetro	AD1030 Professional pH-ORP-TEMP Bench Meter
Espectrofotometro UV-Vis	HACH DR 3900
Digestor	Hach, digestor para DQO, mantiene T=150°C por 120 minutos
Estufa	T = 500 °C
Centrifuga	Eurolab Ic-04R centrifuge
Lámpara UV-Vis	245 nm SSE-006 philips
Agitador magnetico	Fisher Scientific Magnetic Stirrer - Cat.no.14-511-2
REACTIVOS	
Fenol	C ₆ H ₅ OH
Dióxido de Titanio	TiO ₂
Viales de DQO	Marca HACH
Azul turquesa moderdirect supra FBL 400%	DB199 – lote: D53p17z03
Agua destilada	
Solución estándar para DQO	1000 mg/L de O ₂ , 200 mL Marca HACH
Alcohol etílico absoluto	QUIMEX – CH ₃ CH ₂ OH
Sulfato de aluminio	Aris industrial - granulado
MATERIALES DE VIDRIO	
Tubos de ensayo	Para análisis de la muestra
Vasos de precipitado	ISOLAB de 5, 10, 25 ml.
Embudo	
MATERIALES VOLUMENTRICOS	
Micro pipeta	SCI LOGEX 100 - 1000µl
Matraz aforado	ISOLAB de 1000 ml.
Pipetas graduadas	ISOLAB de 10, 5, 2 ml
MATERIALES DE METAL	
Espátula	Tipo cuchara
Gradilla	Gradilla de refrigeración (tubos de DQO, 16mm) acero inoxidable - HACH
Barra magnetica	Teflonados, con un anillo pivotante que aumenta la turbulencia.
MATERIALES DE PLASTICO	
Puntillas para micro pipeta	Universal color azul 50 - 1000 µl
Bomba pipeteadora	SciPette
cronometro	Digital deportivo
Micro filtros	millipore de 0.45 µm
MATERIALES DE PROTECCIÓN	
Guantes de nitrilo	
Lentes de protección	
Guardapolvo	
OTROS MATERIALES	
Papel filtro	
Papeles adhesivos para rotulación de frascos.	
Rotulador indeleble	

Tabla 11: Lista de equipos

3.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS:

La técnica utilizada para este proyecto es registros y mediciones de variables que consistió en tomar datos en forma sistemática cualquier hecho que se produzca en el ámbito del procedimiento experimental, en función a los objetivos de la investigación pre establecida.

3.3 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Concluido con el trabajo de investigación se obtuvo resultados, selección y tabulación de datos, se pasará al proceso de análisis de los datos recopilados utilizando los indicadores de la estadística descriptiva e inferencial como base y cuyos indicadores son:

- Prueba de hipótesis.
- Almacenamiento de datos
- Análisis de Variancia ANOVA
- Coeficiente de variabilidad.
- Desviación estándar

Media, mediana y coeficiente de correlación simple.

3.4. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

TECNICAS	INSTRUMENTOS
observación experimental	Diario de campo
	Equipo audio visual
	Equipo fotográfico
	registros
Análisis documental	Ficha de datos
	Ficha de análisis
Estadística	Tablas
	Gráficos

Tabla 12: técnica e instrumentos para la recolección de datos.

3.5. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS (CUADROS Y/O GRAFICOS)

Para la presentación de los datos que se obtuvo en el trabajo de investigación se empleó los programas de Microsoft Word 2013, Excel 2013, PowerPoint 2013, CorelDraw X6, VLC media player, ArcGis.

3.6. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para este caso de estudio se hizo un análisis estadístico, el programa utilizado es el SPSS.

CAPITULO IV: RESULTADOS

En primer lugar, previo a la realización del análisis estadístico, se evaluó la normalidad de los datos numéricos (DQO) para determinar la pertinencia del uso de un procedimiento paramétrico. Dicha evaluación se presenta a continuación:

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		DQO
N		18
Parámetros normales^{a,b}	Media	95,28
	Desviación estándar	603,238
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,195
	Positivo	0,195
	Negativo	-0,125
Estadístico de prueba		0,195
Sig. asintótica (bilateral)		0,068 ^c
a. La distribución de prueba es normal.		
b. Se calcula a partir de datos.		
c. Corrección de significación de Lilliefors.		

Tabla 13. Prueba de Normalidad de los datos (DQO)

El p-valor o significancia obtenido en el cuadro anterior nos indica que los datos superaron la prueba de normalidad, por lo tanto, es pertinente hacer uso de procedimientos paramétricos.

Por lo anterior, en primer lugar, se presenta a continuación, la información descriptiva, para luego presentarse la contrastación de las hipótesis.

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Resultados descriptivos del experimento, que muestra la interacción del TiO_2 con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles en aguas residuales domésticas.

Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: DQO				
Concentración de fenol	Azul de metilo	Media	Desviación estándar	N
50 mg/l	Sin	-88,00	91,995	3
	Con	71,67	2,517	3
	Total	-8,17	105,051	6
100 mg/l	Sin	-430,33	90,578	3
	Con	1182,67	302,490	3
	Total	376,17	905,766	6
150 mg/l	Sin	-526,00	117,847	3
	Con	361,67	215,370	3
	Total	-82,17	510,387	6
Total	Sin	-348,11	217,744	9
	Con	538,67	532,476	9
	Total	95,28	603,238	18

Tabla 14. Interacción del TiO₂ con el azul de metilo.

En el cuadro anterior se observa que, en promedio, en las muestras estudiadas, hubo una mejor reducción de la concentración de fenoles al emplear 150 mg de TiO₂/L., sin el azul de metilo (-526.00). Por otro lado, al usarse 100 mg de TiO₂ con azul de metilo, se tuvo un efecto contrario en la concentración de fenoles, ya que éste se incrementó con una media de 1182.67.

4.2. CONTRASTACION DE HIPOTESIS Y PRUEBA DE HIPOTESIS

Prueba de hipótesis para la interacción del TiO₂ con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles en aguas residuales domésticas.

Prueba de efectos Inter sujetos, que muestra la interacción del TiO₂ con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles en aguas residuales domésticas.

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DQO

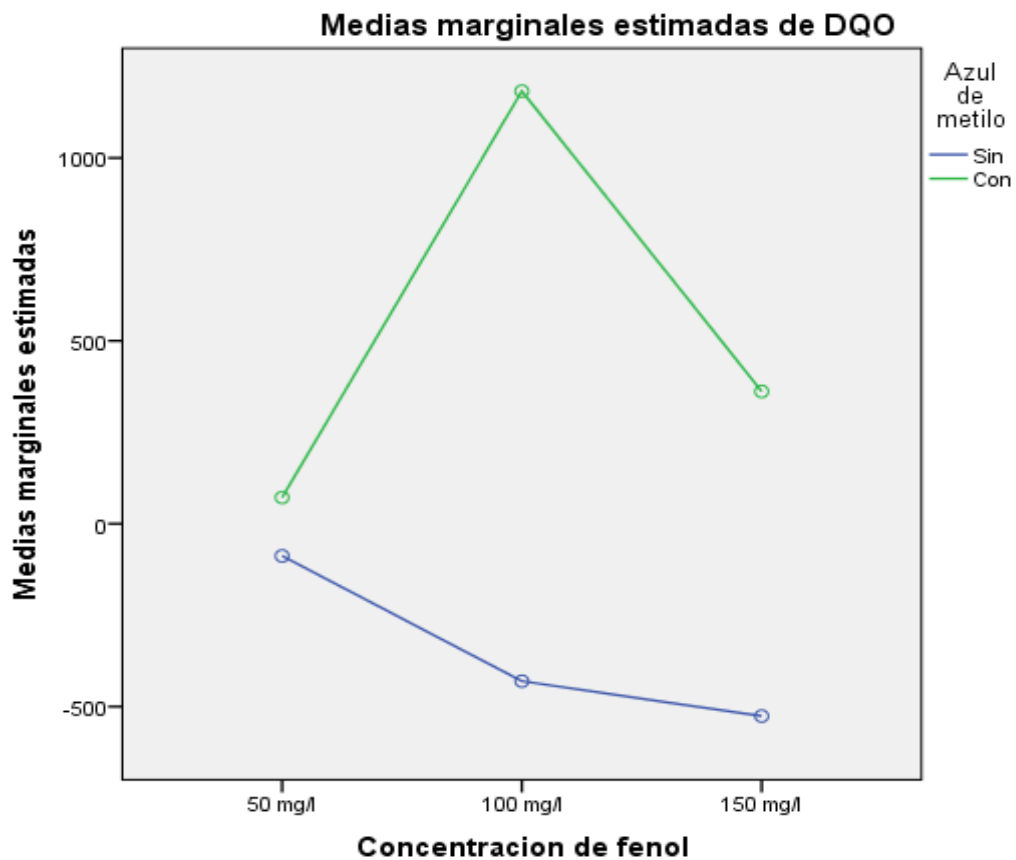
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig. (p-valor)
Modelo corregido	5849336,944 ^a	5	1169867,389	41,670	0,000
Interceptación	163401,389	1	163401,389	5,820	0,033
Concentración de fenol	726515,111	2	363257,556	12,939	0,001
Azul de metilo	3538686,722	1	3538686,722	126,047	0,000
Concentración de fenol *	1584135,111	2	792067,556	28,213	0,000
Azul de metilo					
Error	336892,667	12	28074,389		
Total	6349631,000	18			
Total corregido	6186229,611	17			

a. R al cuadrado = .946 (R al cuadrado ajustada = .923)

Tabla 15. Interacción del TiO₂ con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles.

El valor de la significancia o p-valor del modelo corregido (0.00) nos indica que efectivamente el experimento ha tenido resultados significativos, entre los cuales podemos destacar: El uso del TiO₂ ha provocado diferencias significativas en la concentración de fenol (p-valor=0.001), lo mismo con el uso adicional de azul de metilo (p-valor=0.000)

Gráfico 1: Prueba de efectos Inter sujetos, que muestra la interacción del TiO_2 con el azul de metilo en la reducción de la concentración de fenoles en aguas residuales domésticas.



Habiendo observado en la prueba Inter sujetos que, si existen diferencias significativas en la concentración de fenoles al usar TiO_2 y también azul de metilo, esta gráfica es útil para identificar que orientación han tenido esas diferencias, podemos apreciar que: La mayor disminución de la concentración de fenoles se dio con una concentración de 150 mg/l de TiO_2 , sin el uso del azul de metilo. Por otro lado, tuvo un efecto adverso en la concentración de fenoles, al usarse azul de metilo, sin importar la concentración de TiO_2 que se haya empleado, encontrándose el mayor pico con 100 mg/l de TiO_2 y azul de metilo.

CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Estos análisis se hicieron empleando el software estadístico SPSS; a partir de este se obtuvo la tabla ANOVA, las gráficas y el valor de la concentración final de DQO.

Caso de estudio 1

De acuerdo a la tabla (16) se muestra el resultado obtenido, el factor más significativo en orden decreciente de importancia es:

- La degradación del fenol

N	TiO ₂ (mg/L)	Tiempo (h)	DQO inicial (mg/l O ₂)	DQO final (mg/l O ₂)	% degradación
1	50 mg/L	3	1010	922	8.71 %
2	100 mg/L	3	1435	1005	29.97 %
3	150 mg/L	3	1396	870	37.68 %

Tabla 16. Porcentaje de degradación del fenol con las respectivas concentraciones de TiO₂ nano.

Del cuadro anterior se obtuvo el mayor porcentaje en remoción del Fenol con la concentración de TiO₂ 150mg/L dando un 37.68%, los valores óptimos de los factores que permiten minimizar el valor de la variable dependiente degradación del fenol es:

- Concentración del TiO₂ = 150 mg/l

Caso de estudio 2

En tabla 17 se muestran los resultados obtenidos.

N	TiO ₂ (mg/L)	DB 199 (mg/L)	Tiempo (h)	DQO inicial (mg/l O ₂)	DQO final (mg/l O ₂)	% degradación
1	50	0.05	3	878	929	-5.80%
2	100	0.05	3	968	2151	-122.21%
3	150	0.05	3	1029	1390	-35.08%

Tabla 17. Porcentaje de degradación del fenol con las respectivas concentraciones de TiO₂ nano y DB199.

Se aprecia que el DB199 influye significativamente en la variable de respuesta dependiendo de la concentración de TiO₂.

Esto es debido a que el DB199 no funciono como se pensó en un principio, uno de los factores puede ser el tiempo de incidencia de luz UV en la muestra, concentración de DB199 para este caso se utilizó 0.05mg/L; en el paper no mencionaba la cantidad que se tenía que utilizar para que el TiO₂ tuviese una función optima, no llego a degradar la concentración del fenol como se pensó en un inicio que este iba a aumentar la reacción fotocatalítica de TiO₂, aumentando el porcentaje de degradación del fenol.

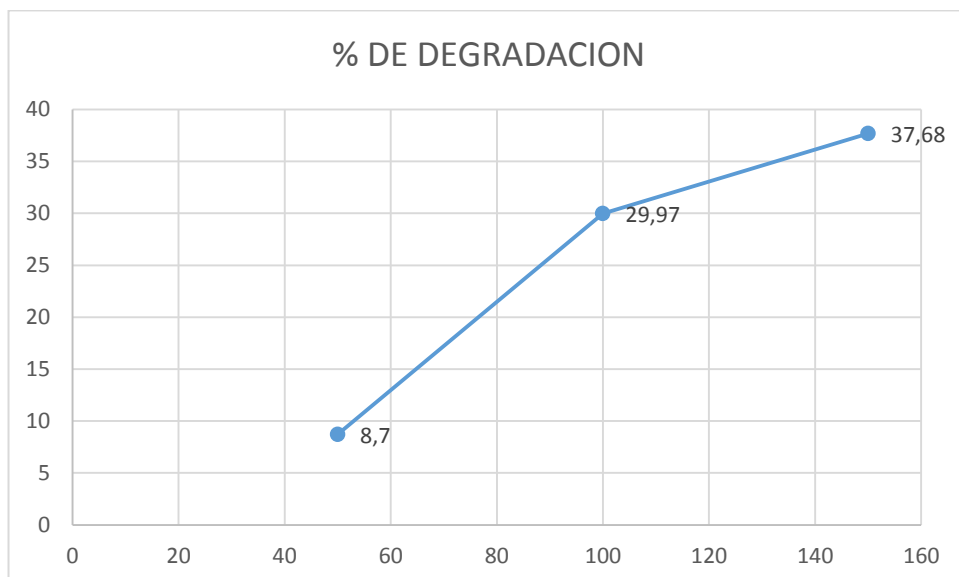
Se observa que el DQO va en aumento a medida que pasa el tiempo en la exposición a luz UV-Vis con relación al catalizador TiO₂.

Experimentalmente se encontró que el tiempo de exposición, concentración de catalizador y el tipo de catalizador influyen en la degradación y eficiencia del proceso de fotocátalisis en el tratamiento de aguas residuales con fenol.

La degradación del contaminante fenol mediante la fotocátalisis es una manera más limpia que otras tecnologías convencionales.

CONCLUSIONES

- El valor de R2 indica que el modelo utilizado explica en un 92,3% la variabilidad de la DQO.
- La degradación del fenol va a depender de la concentración del catalizador y el tipo de catalizador que se está utilizando.
- El TiO2 nano tuvo grandes expectativas en las degradación del fenol con un 37.68%.
- En la siguiente grafica se muestra la degradación del contaminante, se obtuvo una ecuación para describir la cinética del proceso fotocatalítico, está en función a la concentración del catalizador con el porcentaje de degradación, a mayor concentración del catalizador se tendrá mayor degradación del contaminante tratado.



Grafica 4: Degradacion del Contaminante Fenol

- Los factores como el catalizador, tipo de catalizador, intensidad de radiación, tiempo de radiación, etc. influyen sobre la degradación del contaminante modelo fenol.
- Se muestra claramente la disminución del contaminante con respecto a la concentración del catalizador.

OBSERVACIONES

- Durante el procedimiento experimental del trabajo de investigación se pudo observar la dificultad al separar las nanopartículas de TiO_2 de la muestra, por lo que se puede optar tratar con TiO_2 soportado para mejorar la calidad de la muestra.
- La eficiencia de la nanopartícula de TiO_2 es muy efectiva en un sistema tipo batch, ya que en un sistema continuo tiene algunas dificultades en la incidencia de radiación UV-Vis.
- De acuerdo a la naturaleza del contaminante, se hará la exposición de la nanopartícula de TiO_2 a la luz UV-Vis, para la degradación del contaminante que se requiera tratar.
- Para la degradación del contaminante se utilizó fracciones muy pequeñas de nanopartículas de TiO_2 , haciendo de esta rentable.
- Se puede recuperar las nanopartículas de TiO_2 , para su uso en otro tratamiento.

RECOMENDACIONES

- Una forma amigable con el medio ambiente sería construir reactores solares provistos de colectores parabólicos compuestos (CPC), irradiados por luz solar con variación de la potencia de las lámparas en el tanque.
- La información recolectada en campo puede llegar a sustituir al tratamiento de agua convencional, ya que los resultados mostraron que la aplicación del TiO_2 nano a concentración de 150mg/l, es más eficiente en la degradación del fenol con una concentración de 1000mg/L.
- La utilización de la energía de la lámpara UV-vis se puede reemplazar con la utilización de energías renovables como la energía solar como fuente de fotones, se haría estudios sobre la posición del sol y el tiempo de radiación para cada estación, sería una forma rentable.
- La utilización de las nanopartículas de TiO_2 es económico, rentable y amigable con el medio ambiente ya que no contamina; es una tecnología limpia que se puede utilizar para tratamientos de aguas residuales domésticas.
- Fomentar a la investigación con el TiO_2 para obtener mayor información, dado el caso hay escasa información en el ámbito nacional.
- Promover a los estudiantes la construcción de un reactor en escala piloto para posibilitar el estudio sobre la efectividad del proceso de degradación de contaminantes que se requiera tratar.
- Avivar a los estudiantes a salir de lo convencional y empezar por nuevos estudios que son más sostenibles para el medio ambiente como son los Procesos oxidativos avanzados (POA)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriana Y. Ito, Valéria H. A. Ota, Antonio Carlos S. C. Teixeira (2009) DEGRADAÇÃO DE FENOL EM REATOR FOTOQUÍMICO SOLAR USANDO O SISTEMA TiO₂/UV de VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica.
- Ana Rey Barroso. (2010). CATALIZADORES DE HIERRO SOPORTADO SOBRE CARBÓN ACTIVO PARA LA OXIDACIÓN CATALÍTICA DE FENOL CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO. 2010, de UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID Sitio web: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/4302/28845_rey_barroso_ana.pdf?sequence=1
- ANTONIO PEDRO BRAVO QUINTANA. (2015). TÉCNICAS DE APRENDIZAJE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA DESARROLLAR LA CONCIENCIA AMBIENTAL DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SUPERIOR. 2015, de REPOSITORIO ACADEMICO USMP Sitio web: http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/1206/1/bravo_gap.pdf
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). Resúmenes de Salud Pública - Fenol (Phenol). 06 de mayo de 2016, de European Chemical Agency Sitio web: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs115.html
- AEMA. Agencia Europea de Medio Ambiente. (2012). 30/04/2012., de AEMA Sitio web: <http://www.eea.europa.eu/es>
- Antonio Pedro Bravo Quintana. (2015). Técnicas de aprendizaje en el tratamiento de aguas residuales para desarrollar la conciencia ambiental de los alumnos de educación superior. Repositorio académico USMP. 2015, de Universidad San Martín de Porres Sitio web: http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/1206/1/bravo_gap.pdf
- Aguilar Huaylla, Frey Narki (2015). EFECTO DEL H₂O₂ EN EL PROCESO DE DETOXIFICACION POR FOTOCATÁLISIS

HETEROGÉNEA DE LOS EFLUENTES DE LA EMPRESA CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C. sitio web: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2578>

- Banco de la Republica Actividad Cultural. (2015). Contaminacion. 2015, de Subgerencia Cultural del Banco de la República Sitio web: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/contaminacion>
- Bickley, R.I., González-Carreño, T., Lees, J.S., Palmisano, L., Tilley, R.J.D..(1991). "A structural investigation of titanium dioxide photocatalysts". Journal of Solid State Chemistry, 92, 178-190.
- Cristina Adán Delgado (2008). Fotocatalizadores nanoestructurados de TiO₂ y Fe-TiO₂ para la degradación de compuestos aromáticos en medio acuoso empleando luz solar.sitio web: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/1604/14646_adan_delgado.pdf?sequence=1
- DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS. (2014). DECENIO INTERNACIONAL POR LA ACCION "EL AGUA ES VIDA" 2005-2015. 22/10/2014, de ONU-organización de las naciones unidas Sitio web: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Damián Monllor Satoca (2010), Foelectroquímica de electrodos semiconductores nanocristalinos: proceso de transferencia de carga y estrategias de mejora de la fotoactividad. Sitio web: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20503/1/tesis_damian.pdf
- Dr. jhonByrne. (Oct 2009). EL USO DE LA NANOTECNOLOGÍA PARA MEJORAR LAS EFICIENCIAS FOTOCATALÍTICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS. AZO NANO Oct 2009, de UniversityUlster en jordanstown Sitio web: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=2410>).
- Eduardo Fernandez Mayo Peternell. (2010). Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de Aguas Residuales para la localidad de xochiapa. 8 Oct 2010, de Universidad Veracruzana región Xalapa Sitio web:

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30564/1/FernandezMayo.pdf>

- E-PRTR. (2012). Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. 30/04/2012, de E-PRTR Sitio web: <http://prtr.ec.europa.eu>.
- Fiege, H., Voges, H.W., Hamamoto, T., Umemura, S., Iwata, T., Miki, H., Fujita, Y., Buysch, H.J., Garbe, D., Paulus W. (2007). PhenolDerivatives en Ullmann'sEncyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim (Alemania): 6ª edición (formatoelectrónico), Wiley-VCH.
- GREENFACTS. (2017). Nanopartícula. 22-07-2017, de greenfactsSitio web: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/nanoparticula.htm>
- Hernández Muñoz. (2006). Manual de Depuración de Uralita, España. Paraninfo, pag. 13. 32.
- Hernández Sampieri, Roberto / Fernández Collado, Carlos / Baptista Lucio, Pilar. (2014). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. 04-2014, de Metodologiaecs Sitio web: <https://metodologiaecs.wordpress.com/2016/01/31/libro-metodologia-de-la-investigacion-6ta-edicion-sampieri-pdf/>
- Jaime Carbajo Olleros. (2013). APLICACIÓN DE LA FOTOCATÁLISIS SOLAR A LA DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EN FASE ACUOSA CON CATALIZADORES NANOESTRUCTURADOS DE TIO₂. 10 de mayo 2013, de Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias.
- Juan Inzunza. (2005). RADIACION. 2005, de Universidad de Chile Sitio web: http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion_doc_Univ_CHile.pdf
- Jeannette Arrieta Molina, AnnieHayling Fonseca. (1990). EL PENSAMIENTO DE HEIDEGGER Y MARCUSE EN RELACION CON LA ECOLOGIA. 1990, de Instituto de Investigaciones Filosóficas Vicerrectoría de Investigación Universidad de Costa Rica Sitio web: <http://www.inif.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista%20de%20Filosof%C3%ADa%20UCR/Vol.%20XXVIII/No.%2067->

[68/el%20pensamiento%20de%20Heiddegger%20y%20Marcuse%20en%20relacion%20con%20la%20ecologia.pdf](#)

- Leguizamón, J.; Quiñones, C.; Espinosa, H.; Sarria, V.. (2010). Fotosensibilización de dióxido de titanio..2010, de Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 13 (2): 185-190 Sitio web: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a21.pdf>
- Leticia Fernández Velasco. (2012). FOTODEGRADACIÓN OXIDATIVA DE FENOL CON CATALIZADORES TIO₂-C. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA FOTOQUÍMICA DE LA FASE CARBONOSA. 2012, de Universidad de Oviedo.
- LEONARDO NARVÁEZ CAMPO JUAN D. COHEN RODRIGUEZ. (2012). APLICACIÓN DE LA FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA SOLAR PARA LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS FARMACÉUTICOS EN EFLUENTES LÍQUIDOS. 02-03-2012, de UNIVERSIDAD DE CARTAGENA Sitio web: <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/120/1/TESIS%20DE%20GRADO-APLICACION%20DE%20LA%20FOTOCATALISIS%20HETEROGENEA.pdf>
- Masqué, N., Pocurrull, E., Marcé, R.M., Borrull, F. (1993). "Determination of eleven priority EPA phenolics at ng L-1 levels by on-line solid-phase extraction and liquid chromatography with UV and electrochemical detection". Analyst, 47, 176-182.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de abril de 2015). RESOLUCIÓN 631 DE 2015 (marzo 17) Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015. 18 de abril de 2015, de MINAM Sitio web: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Marvin Horacio, Chávez Sifontes (2005). Degradación fotocatalítica de Fenol Mediante Dióxido de Titanio en Suspensión acuosa. Sitio web: <http://ri.ues.edu.sv/8716/1/19200738.pdf>
- METCALF & EDDY INC. (2009). La Quinta Disposición Complementaria de la Resolución N° 0291-2009-ANA. Referente al

otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reúsos de aguas residuales tratadas – Perú. 01 Jun 2009, Sitio web: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/217/1/mendez_mf.pdf

- MINAM. (2015). Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. 30 de Diciembre del 2015, Sitio web: <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/>
- Nieto Juárez Jessica Ivana (2002). ELIMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA CONTENIDA EN UN EFLUENTE DE CURTIEMBRE MEDIANTE OXIDACIÓN BIOLÓGICA Y QUÍMICA. Sitio web: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4800>
- Nobel Francisco RovirosaMorell. (2010). TRATAMIENTOS DE AGUAS. 2012, de Estación de tratamiento de agua potable Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. . (Abril 2014). FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES, de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental Sitio web: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- ONG Perú Ecológico. (2012). La contaminación Ambiental. 2012, de Perú Ecológico Sitio web: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c22_t04.htm.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. (2014). FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES SITIO. ABR 2014, de OEFA Sitio web: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Pilar FernandezIbañez. (2003). PROPIEDADES COLOIDALES DE PARTÍCULAS DE TIO₂: APLICACIÓN AL TRATAMIENTO FOTOCATALÍTICO SOLAR DE AGUAS. 5 Dic 2003, de universidad de granada.
- PRTR-España. (2012). Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. 30/04/2012, de PRTR-España. Sitio web: <http://www.prtr-es.es/>.

Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. (2007). FENOLES. 1, de European Chemical Agency Sitio web: <http://www.prtr-es.es/Fenoles,15658,11,2007.html>.

- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. (2007). FENOLES. 1, de European Chemical Agency Sitio web: <http://www.prtr-es.es/Fenoles,15658,11,2007.html>
- Real Academia Española. (2014). DESCONTAMINACION. 2017, de Asociación de la Real Academia Española Sitio web: <http://dle.rae.es/?id=Cj0440v>.
- Santos, A., Yustos, P., Quintanilla, A., Rodríguez, S., García-Ochoa, F..(2002). "Route of the catalytic oxidation of phenol in aqueous phase". Applied Catalysis B: Environmental, 39, 97-113.
- Serpone, N., Pelizzetti. (1989). "Photocatalysis. Fundamentals and Applications". 1989, de Wiley Interscience, Nueva York. (Herrmann, J.M.. (2005). "Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications". Topics in Catalysis, 34, 49-65).
- Sofía Castro. INTE PUCP. 13 Mar 2017. Día Mundial de agua 2017. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Santiago A. Cabello Berdun (2000). Degradación fotocatalítica de fenol mediante tio₂ modificado con metales de transición y sulfato. Sitio web: <http://www.biblioteca.uma.es/bbl/doc/tesisuma/16279918.pdf>

ANEXO 1. RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N°119-2018-CF-FI-UDH

Huánuco, 09 de febrero de 2018

Visto, el expediente 052-18 de la bachiller Jazmin Carolina SANTIAGO TALENAS, del Programa Académico Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, quien solicita modificación del Título del Proyecto de Investigación;

CONSIDERANDO:

Que, según Resolución N° 529-99-CO-UH, de fecha 06.09.99, se aprueba el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería, vigente;

Que, según Oficio N° 027-C-PAIC-FI-UDH-2017, del Presidente de la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Informa que el recurrente ha cumplido con levantar las observaciones hechas por la Comisión de Grados y Títulos, respecto al Proyecto de Investigación; y

Que, según expediente 052-18 de la bachiller Jazmin Carolina SANTIAGO TALENAS, del Programa Académico Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, quien solicita modificación del Título del Proyecto de Investigación, y

Que, según informe N° 007-2018-UDH-HCO del Bgo. Alejandro Rolando Duran Nieva, del Programa Académico Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, informa que es procedente el cambio de título del proyecto de investigación.

Que, según informe N° 035-2018-UDH-HCO del Ing. Simeon Edmundo Calixto Vargas, del Programa Académico Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, informa que es procedente el cambio de título del proyecto de investigación.

Que, según informe N° 06-2018-UDH-HCO de la Ing. Magalli Ivonne Reyes Cordova, del Programa Académico Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, informa que es procedente el cambio de título del proyecto de investigación.

Estando a lo acordado por el Consejo de Facultad de fecha 09 de febrero de 2018 y normado en el Estatuto de la Universidad, Art. N° 44 inc.r);

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- ANULAR, la resolución N° 735-2017-CF-UDH, en todos sus términos.

Artículo Segundo.- APROBAR, el Proyecto de Investigación Titulado: "ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL USO DE NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A NIVEL LABORATORIO EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 2017" presentado por el bachiller Jazmin Carolina SANTIAGO TALENAS, para optar el Título de Ingeniera Ambiental del programa académico de ingeniería ambiental de la Universidad de Huánuco.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
CONSEJO DE FACULTAD

Ing. JOHNNY W. JACHA ROJAS
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Mg. Ricardo Sachun Garcia
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

ANEXO 2. RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR.

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 300-2017-D-FI-UDH

Huánuco, 12 de mayo de 2017

Visto, el Expediente N° 0800-17, presentado por la alumna **Jazmín Carolina, SANTIAGO TALENAS** del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, quién desarrollará el proyecto de Tesis, solicita Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 0800-17, de la alumna **Jazmín Carolina, SANTIAGO TALENAS**, quién desarrollará el proyecto de Tesis, solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, el mismo que propone al Ing. Johnny Jacha Rojas, como Asesor de Tesis, y;

Que, visto que el Ing. Miguel Ángel Gutiérrez Ojeda, no cumple con el Reglamento de Grados y Títulos, para poder asesorar el desarrollo del Proyecto de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27º y 28º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- ANULAR, la Resolución N° 663-2016-D-FI-UDH de fecha 15 de setiembre de 2016.

Artículo Segundo.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis de la alumna **Jazmín Carolina, SANTIAGO TALENAS** al Ing. Johnny Jacha Rojas, Docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Regístrese, comuníquese, archívese



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CONSEJO DE FACULTAD
Ing. JOHNNY R. JACHA ROJAS
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Ricarda Sachun García
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

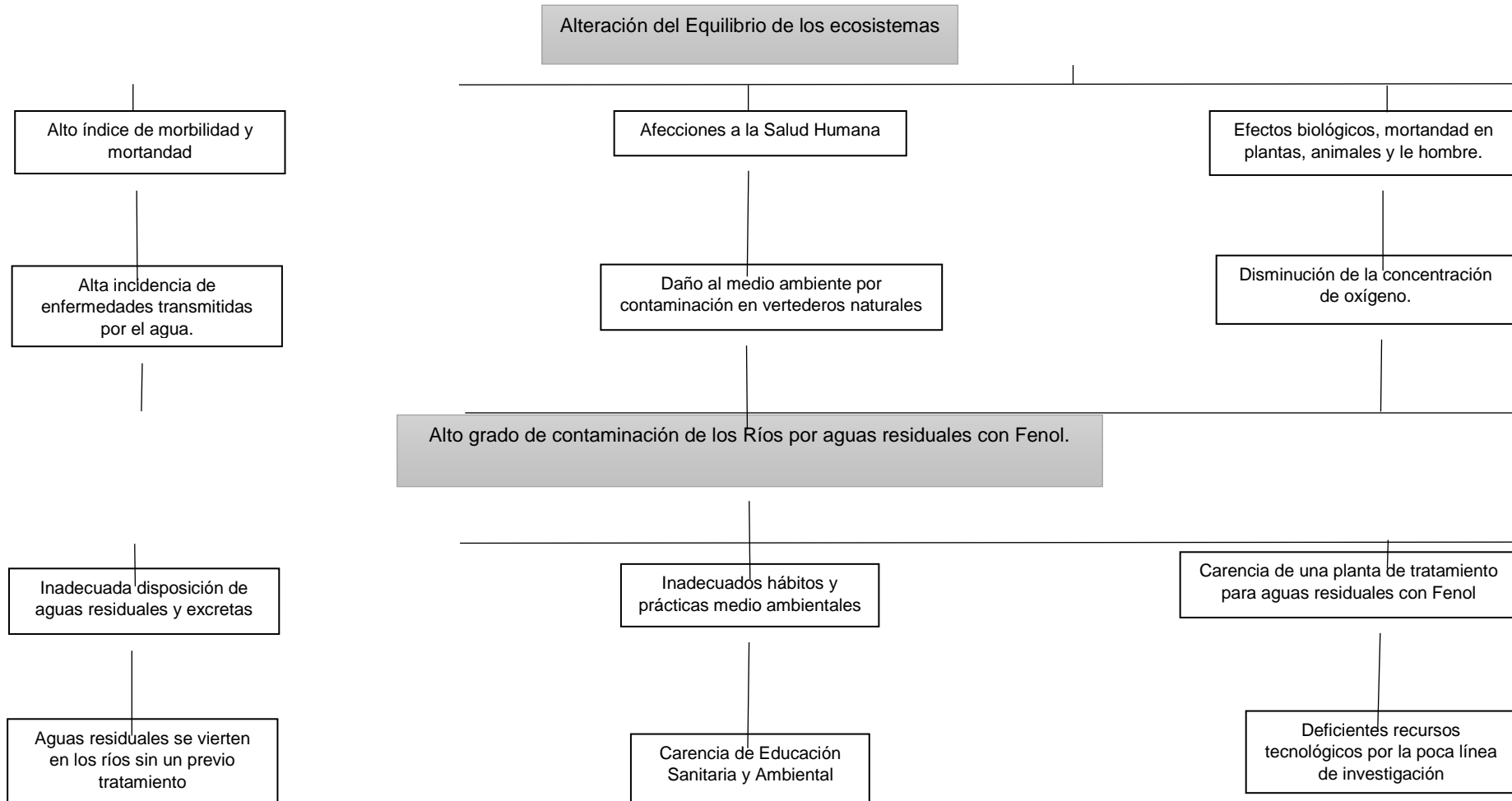
TITULO: "ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL USO DE NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A NIVEL LABORATORIO EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA OCTUBRE - DICIEMBRE 2017"

TESISTA: Santiago Talenas, Jazmin Carolina

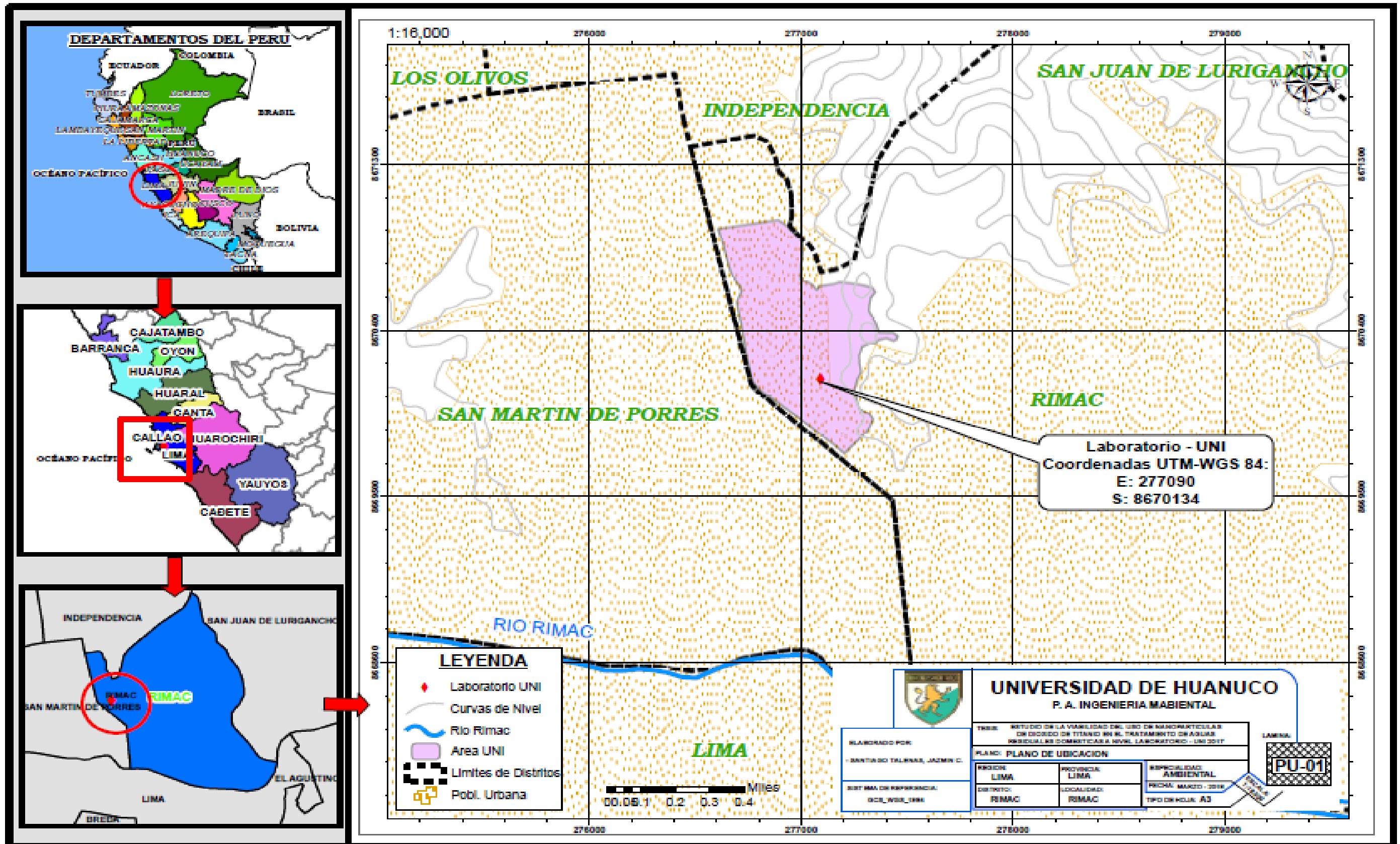
PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>GENERAL ¿Cuál es la eficacia del grado de eliminación del FENOL a través de la Nanopartícula de Dióxido de Titanio en el tratamiento de aguas residuales domésticas?</p> <p>ESPECIFICOS ¿Cómo Estudiar el efecto de degradación del fenol a diferentes concentraciones de TiO₂ en un medio contaminado?</p> <p>¿Cómo evaluar la influencia de los catalizadores mixtos de TiO₂ en el proceso de fotodegradación del fenol comparando los resultados con los parámetros?</p> <p>¿Cómo evaluar la calidad del efluente utilizando nanopartículas de TiO₂ en el proceso de degradación del fenol antes y después del tratamiento?</p> <p>¿Cómo evaluar la variación de la actividad fotocatalítica con el número de usos del catalizador?</p>	<p>GENERAL Evaluar el grado de eliminación del fenol, utilizando nanopartículas de TiO₂ provenientes de aguas residuales domésticas en el laboratorio de la Facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de Ingeniería 2017.</p> <p>ESPECIFICOS Estudiar el efecto de degradación del fenol a diferentes concentraciones de TiO₂ en un medio contaminado.</p> <p>Evaluar la influencia de los catalizadores mixtos de TiO₂ en el proceso de fotodegradación del fenol comparando los resultados con los parámetros.</p> <p>Evaluar la calidad del efluente utilizando nanopartículas de TiO₂ en el proceso de degradación del fenol antes y después del tratamiento.</p> <p>Evaluar la variación de la actividad fotocatalítica con el número de usos del catalizador.</p>	<p>GENERAL Con la utilización de nanopartículas de TiO₂ se podrá evaluar el grado de eliminación del fenol en aguas residuales domésticas en el laboratorio de la Facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de Ingeniería 2017.</p> <p>ESPECIFICOS Con las diferentes concentraciones de TiO₂ se puede estudiar el efecto de degradación del fenol.</p> <p>En el proceso de fotodegradación del fenol se puede evaluar la influencia de los catalizadores mixtos de TiO₂, comparando los resultados con los parámetros.</p> <p>En el proceso de fotodegradación del fenol se puede evaluar la calidad del efluente utilizando nanopartículas de TiO₂ antes y después del tratamiento.</p> <p>Con el número de usos del catalizador se puede evaluar la variación de la actividad fotocatalítica.</p>	<p>Independiente nanopartículas de TiO₂.</p> <p>Dependiente Eliminación del fenol</p>	<p>Ambiental</p> <p>Ambiental</p>	<p>Concentraciones de TiO₂ (50;100;150 mg/L)</p> <p>Tratamiento por catalizador (TiO₂-nano; TiO₂-nano-DB199)</p> <p>Monitoreo de los parámetros analizados en el tratamiento de agua residual doméstica.</p> <p>Estándar de Calidad Ambiental (ECA).</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Mixto</p> <p>MÉTODO: Experimental</p> <p>NIVEL: Descriptivo</p> <p>DISEÑO: Experimental</p>

ANEXO 4. ARBOL DE CAUSA Y EFECTO

EFECTO



ANEXO 5. PLANO DE UBICACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO



ANEXO 6. DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

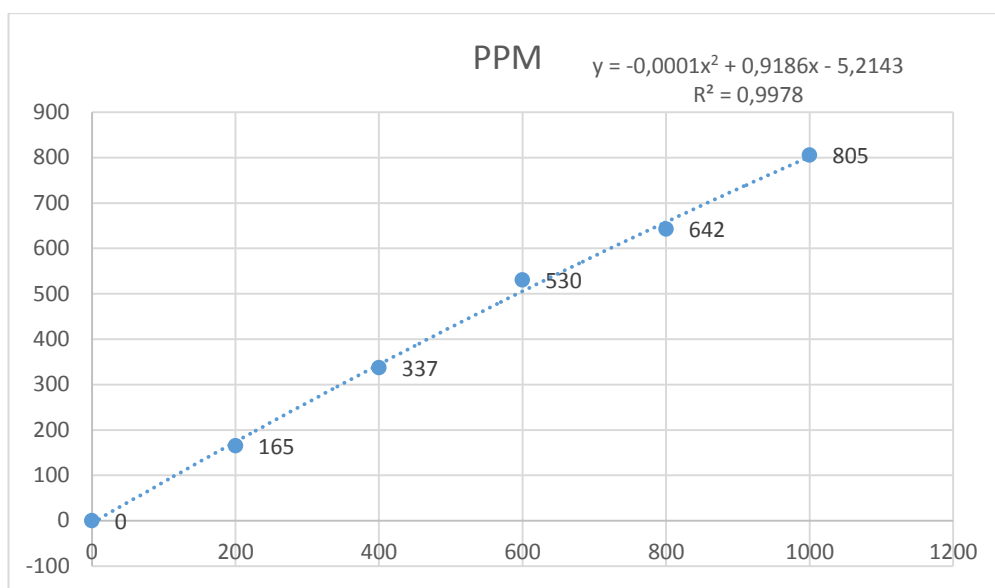


Gráfico 2. Curva de Calibración para DQO

DQO	PPM	ABS	TRANS
0	0	0.000	100 %
200	165	0.073	84.5 %
400	337	0.150	70.8 %
600	530	0.235	58.1 %
800	642	0.285	51.9 %
1000	805	0.357	43.9 %

Tabla 18. Datos obtenidos para la creación de la curva de calibración

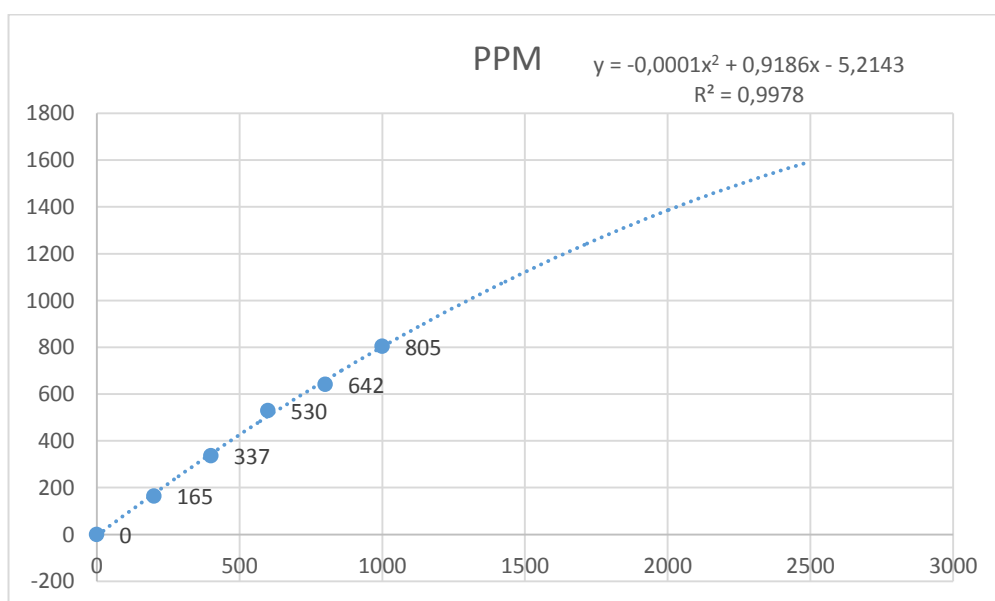


Gráfico 3. Extrapolación de la curva para la DQO

PARTICULAS DE TiO₂ NANO

Muestra 1 se utilizó 1gr/L de fenol

Muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	50mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	50mg/L	0.471	33.8	1061 mg/L
2	3	50mg/L	0.411	38.8	926 mg/L

Cuadro 1: repetición 1

Muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	50mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	50mg/L	0.402	39.6	905 mg/L
2	3	50mg/L	0.410	38.9	923 mg/L

Cuadro 2: repetición 2

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	50mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	50mg/L	0.473	33.7	1065 mg/L
2	3	50mg/L	0.407	39.1	918 mg/L

Cuadro 3: repetición 3

Muestra 2 se utilizó 1gr/L de fenol

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	100 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	100mg/L	0.681	20.9	1533 mg/L
2	3	100mg/L	0.448	35.6	1010 mg/L

Cuadro 4: repetición 1

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	100 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	100mg/L	0.641	22.9	1444 mg/L
2	3	100mg/L	0.452	35.3	1018 mg/L

Cuadro 5: repetición 2

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	100 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	100mg/L	0.590	25.7	1329 mg/L
2	3	100mg/L	0.438	36.4	987 mg/L

Cuadro 6: repetición 3

Muestra 3 se utilizó 1gr/L de fenol

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	150 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	150mg/L	0.647	22.5	1457 mg/L
2	3	150mg/L	0.382	41.5	859 mg/L

Cuadro 7: repetición 1

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	150 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	150mg/L	0.651	22.3	1466 mg/L
2	3	150mg/L	0.389	40.9	876 mg/L

Cuadro 8: repetición 2

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	150 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	150mg/L	0.562	27.4	1266 mg/L
2	3	150mg/L	0.389	40.9	876 mg/L

Cuadro 9: repetición 3

PARTICULAS DE TiO₂ NANO Y DB199 (AZUL DE METILO)

Muestra 1 se utilizó 1gr/L de fenol con azul de metilo 0.05mg/L

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	50 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
I-sin A	0	50 mg/L	0.382	41.5	859 mg/L
1	0	50mg/L	0.390	40.7	879 mg/L
2	3	50mg/L	0.413	38.6	931 mg/L

Cuadro 10: repetición 1

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	50 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
I-sin A	0	50 mg/L	0.380	41.7	856 mg/L
1	0	50mg/L	0.389	40.8	877 mg/L
2	3	50mg/L	0.411	38.8	925 mg/L

Cuadro 11: repetición 2

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	50 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
I-sin A	0	50 mg/L	0.381	41.6	858 mg/L
1	0	50mg/L	0.390	40.7	879 mg/L
2	3	50mg/L	0.414	38.6	932 mg/L

Cuadro 12: repetición 3

Muestra 2 se utilizó 1gr/L de fenol con azul de metilo 0.05mg/L

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	100 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	100mg/L	0.477	33.3	1074 mg/L
2	3	100mg/L	0.847	14.2	1908 mg/L

Cuadro 13: repetición 1

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	100 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	100mg/L	0.400	39.9	900 mg/L
2	3	100mg/L	0.994	10.1	2239 mg/L

Cuadro 14: repetición 2

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	100 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	100mg/L	0.413	38.7	930 mg/L
2	3	100mg/L	1.023	9.5	2305 mg/L

Cuadro 15: repetición 3

Muestra 3 se utilizó 1gr/L de fenol con azul de metilo 0.05mg/L

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	150 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	150mg/L	0.398	40	898 mg/L
2	3	150mg/L	0.569	27	1282 mg/L

Cuadro 16: repetición 1

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	150 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	150 mg/L	0.470	33.9	1058 mg/L
2	3	150 mg/L	0.720	19	1623 mg/L

Cuadro 17: repetición 2

muestra	Tiempo de exp.(H)	gr de TiO ₂ /L	ABS	TRANS	DQO
Blanco	0	150 mg/L	0.000	100%	0 mg/L
1	0	150 mg/L	0.501	31.5	1130 mg/L
2	3	150 mg/L	0.562	27.4	1266 mg/L

Cuadro 18: repetición 3

Concentración	TiO ₂ nano		TiO ₂ nano + DB199	
	Abs	DQO	Abs	DQO
50 mg/L Inicial	0.449	1010	0.390	878
50 mg/L Final	0.409	922	0.413	929
100 mg/L Inicial	0.637	1435	0.430	968
100 mg/L Final	0.446	1005	0.955	2151
150 mg/L Inicial	0.620	1396	0.456	1029
150 mg/L Final	0.387	870	0.617	1390

Cuadro 19. Comparación de TiO₂ nano y TiO₂ nano + DB199 a diferentes concentraciones.

ANEXO 7. EQUIPOS UTILIZADOS DEL LABORATORIO

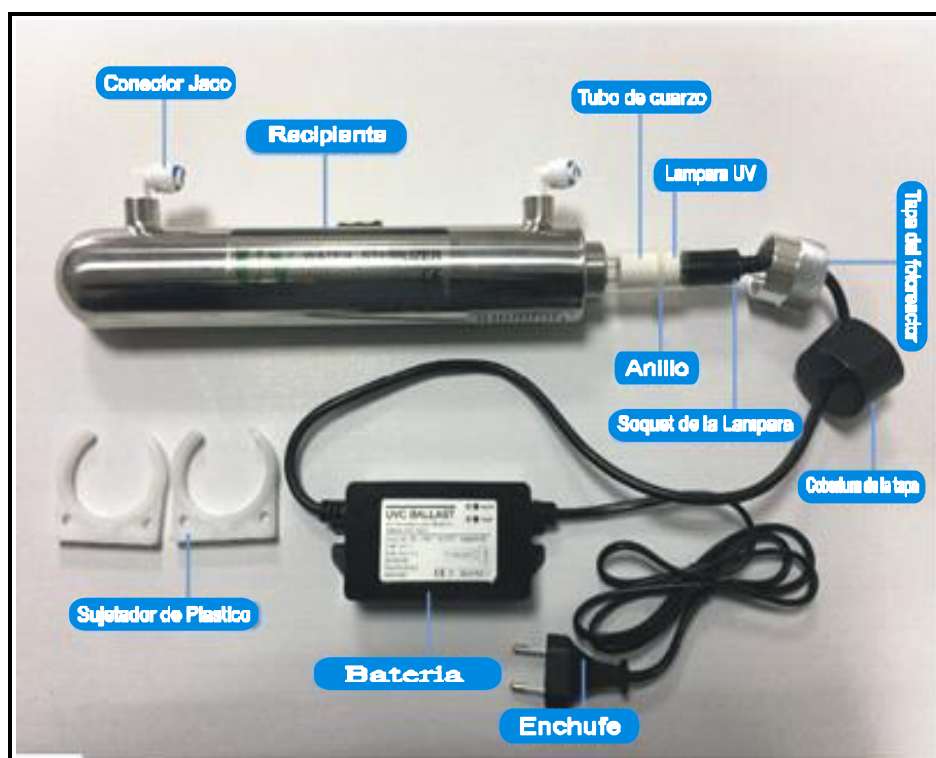


Figura 19: partes del fotoreactor sin modificar UV de acero inoxidable



Figura 20: espectrofotómetro marca HACH DR 3900.



Figura 21: Incubadora marca HACH ANALYZER DRB200, Pre-programmed for all standard digestions (COD or heavy metals) and freely programmable for user-specific digestions.



Figura 22: Viales para DQO



Figura 23: Balanza analítica marca OHAUS PIONEER ANALYTICAL



Figura 24: pH-metro modelo AD1030 Professional pH-ORP-TEMP Bench Meter



Figura 25: Gradilla de refrigeración (tubos de DQO, 16mm) acero inoxidable

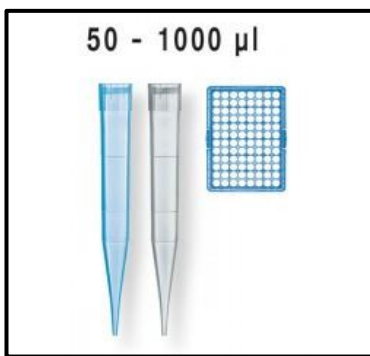


Figura 26: Puntillas para pipetas



Figura 27: Bomba pipeteadora- SciPette



Figura 28: Espátula tipo Cuchara de Laboratorio

ANEXO 8. PANEL FOTOGRAFICO



Foto 1: Solución preparada de Fenol a 1000mg/L.



Foto 2: Solución vertida dentro del fotoreactor



Foto 3: Fotoreactor puesto en marcha para la degradación del contaminante



Foto 4: Preservación y almacenamiento de las muestras para su análisis



Foto 5: filtración de la muestra para retirar las partículas aglomeradas



Foto 6: centrifugación de las muestras para decantar las nanopartículas



Foto 7: Filtración de a muestra por un micro filtro millipore de 0.45 μm .



Foto 8: Tubo de digestión para DQO



Foto 9: Reactor de digestión con muestras.



Foto 10: Espectrofotómetro, analizando de la muestra



Foto 11: Toma de datos obtenidos



Foto 12: Dr. Verónica Carranza, Asesora en la ejecución del proyecto



Foto 13: Grupo de investigación de la UNI – tratamiento de efluentes.



Foto 14: Grupo de apoyo al trabajo de Tesis

ANEXO 8. CERTIFICADOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL
LABORATORIO N°11 - FISICO QUÍMICA

Av. Túpac Amaru N°210 Lima 25-PERU Central FIQT 381-3849, 381-3867 Anexo 39 Fax 481-7919

CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, JEFA (e) DEL LABORATORIO N° 11 DE FISICOQUÍMICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA:

HACE CONSTAR

Que la Srta. Tesista Bachiller JAZMIN CAROLINA SANTIAGO TALENAS proveniente de la Universidad de Huánuco, hizo uso de los equipos e instrumentos de medición (Anexo 1), y que estos se encontraron en óptimas condiciones en el Laboratorio N° 11 de Físicoquímica de la FIQT-UNI, para que realice la parte experimental de su tesis, durante los meses de noviembre y diciembre de 2017.

Se expide la presente como constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Lima, 27 de marzo de 2018



Ing. BERTHA CARDENAS VARGAS

Jefa (e) del Laboratorio N° 11 de Físicoquímica FIQT-UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL
LABORATORIO N°11 - FISICO QUÍMICA

Av. Túpac Amaru N°210 Lima 25-PERU Central FIQT 381-3849, 381-3867 Anexo 39 Fax 481-7919

Anexo 1

N°	EQUIPOS	MARCA	MODELO	SERIE
1	Balanza Analítica	Ohaus	Pioneer	B1372679
2	pH / ORP / Temperature Bench Meter	Adwa	AD1030	D0037874
3	Espectrofotómetro UV-Vis	Hach Company	DR 3900	1747328
4	Digestor	Hach Company	DRB200	1740C0078
5	Estufa	Labor Muszeripari Muvek	P-309	FIQT UNI 532282240006
6	Centrifuga	EuroLab Germany	LC-04R	70713142
7	Lámpara UV Sterilizer	Philips	TUV-6W	No tiene
8	Tubo cuarzo	No tiene	QT5-245	No tiene
9	Agitador magnético	Fisher Scientific	14-511-2	No tiene





Central Drug House (P) Ltd.
AN ISO 9001:2008 COMPANY

Manufacturers of : Laboratory Fine Chemicals & Dehydrated Culture Media

CERTIFICATE OF ANALYSIS

PHENOL AR

PRODUCT CODE	606355	Batch No. : 050816
SYNONYMS	Carbolic acid	Mfg. : Aug. 2016
C.I. NO.	N/A	Best Before : July 2021
CASR NO.	108-95-2	
ATOMIC OR MOLECULAR FORMULA	C ₆ H ₅ .OH	
ATOMIC OR MOLECULAR WEIGHT	94.11	
PROPERTIES	---	

C₆H₅.OH

PARAMETER	LIMIT	OBSERVED
Description	Colourless hygroscopic crystals with a characteristic odour. Phenol becomes pink on exposure to air & light.	Complies
Solubility	5% solution in water is clear & colourless.	Complies
Minimum assay	99.5%	99.85%
Freezing Point	40.0- 41.0°C	40.0- 41.0°C
MAXIMUM LIMIT OF IMPURITIES		
Insoluble matter	0.005%	0.0041%
Acidity	0.04 ml N/1%	0.026 ml N/1%
Alkalinity	0.04 ml N/1%	0.026 ml N/1%
Non volatile matter	0.02%	0.012%
Chloride (Cl)	0.0005%	Less than 0.0005%
Iron (Fe)	0.0001%	Less than 0.0001%
Lead (Pb)	0.001%	Less than 0.001%
Tarry matter	No reaction	No reaction
Water	0.5%	0.3%

Remarks : Sample complies as per above specification.

ANALYST

MANAGER (Q.C.)



In compliance with standard specifications of CDH

This CDA has been generated electronically and it is valid without signature.

Corp. Office : 7/28, Varidaan House, Ansari Road,
Daryaganj, New Delhi-110002 (India)

Phone : +91 11 49404040 (100 Lines)
Fax : +91 11 49404050, 23280932

E-mail : sales@cdhfinechemical.com
export@cdhfinechemical.com



cdhfinechemical.com

KOBO

GENERAL MATERIAL INFORMATION

MATERIAL MANUFACTURER	Kobo Products, Inc.
MATERIAL TRADE NAME	TEL-100-DMC5
MATERIAL CTFA/INCI NAME	Titanium Dioxide (and) Silica (and) Alumina (and) Hydrogen Dimethicone
SHELF LIFE	5 years
COUNTRY OF ORIGIN	USA
APPEARANCE	White powder
PARTICLE SIZE	NA
INGREDIENT SOURCE (animal, plant or synthetic)	synthetic
If Animal Derived is the material: BSE-Free?	BSE free
If Plant derived is the material: Gluten-free?	Gluten free
Does it contain any Genetically Modified Organisms (GMOs)?	NO
Does this material contain nano- particles?	YES, follow the letter enclosed
Does this material contain any allergens?	NO

MATERIAL INFORMATION

INCI	CAS NUMBER	EINECS NUMBER	% COMPOSITION
Titanium Dioxide	13463-67-7	236-675-5	81,50-89,50
Silica	7631-86-9, 1129	231-545-4	2,50-7,00
Hydrogen Dimethicone	68037-59-2	Polymer	4,00-6,00
Alumina	1333-4-2, 1344	215-691-6	0,75-3,00

FORMULATION	
Concentration suggested	1-25% depending on country regulation
SPF expected	2 SPF units per % TiO ₂
Temperature of addition	0-100 C
Way of addition in general	add directly to liquid with adequate ventilation (no inhalation)
Incompatibilities	None known
FUNCTION	
Use of the raw material:	UV absorber
Signed by:	
Kobo Products, Inc. - 3474 South Clinton Avenue – South Plainfield, N.J. 07080 - USA	

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION 1: CHEMICAL PRODUCT IDENTIFICATION

Manufacturer/Distributor : Kobo Products, Inc.
Address : 3474 South Clinton Avenue
South Plainfield, NJ 07080
Emergency Telephone # : (908) 757-0033
Facsimile Number : (908) 757-0905
Trade Name : TEL-100-DMC5
INCI : Titanium Dioxide (And) Silica (And) Alumina (And) Hydrogen Dimethicone
Material Uses : Component in personal care products

SECTION 2: COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

<u>Ingredient</u>	<u>CAS #</u>	<u>EINECS #</u>
Titanium Dioxide	13463-67-7	236-675-5
Alumina	1333-84-2	215-691-6
Silica	7631-86-9	231-545-4
Hydrogen Dimethicone	68037-59-2	Polymer

SECTION 3: HAZARD IDENTIFICATION

Physical State and Appearance: Solid (characteristic odor, white powder)

Emergency Overview: May cause respiratory tract, eye and skin irritation.

Routes of Entry: Eye contact. Inhalation. Ingestion (not anticipated).

Potential Acute Health Effects

Eyes: May cause eye irritation. Symptoms include itching and redness after contact.

Skin: May cause mild skin irritation. Symptoms include itching and redness after contact.

Inhalation: May cause respiratory tract irritation. Symptoms include coughing, wheezing or shortness of breath when inhaled.

Ingestion: Not an intended route of exposure. May be hazardous in case of ingestion. Symptoms include gastrointestinal tract upset and diarrhea.

Potential Chronic Health Effects

Additional information See Toxicological information (section 11)

Medical Conditions Overexposure: Aggravated by Repeated or prolonged inhalation of any dust particulate may aggravate respiratory medical conditions.

SECTION 4: FIRST AID MEASURES

Eye Contact: Check for and remove any contact lenses. In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes. If symptoms persist, seek medical attention.

Skin Contact: In case of contact, immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash contaminated clothing before reusing. Thoroughly clean shoes before reuse. If symptoms develop, seek medical attention.

Inhalation: If inhaled, remove to fresh air. If breathing is difficult, give oxygen. If not breathing, give artificial respiration. If symptoms persist, seek medical attention.

Ingestion: Do not ingest. If this material is swallowed, call a physician immediately. Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person.

SECTION 5: FIRE FIGHTING MEASURES

Flammability: Non-flammable

Flash Point: Not applicable

Fire Fighting Media and Instructions: In case of fire, use water spray (fog), foam, dry chemical, or CO2

Protective Clothing (fire): Wear self-contained breathing apparatus and full protective clothing.

SECTION 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Small Spill and Leak:	Use a tool to scoop up solid or absorbed material and place into appropriate labeled waste container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and dispose of according to local and regional regulatory requirements.
Large Spill and Leak:	Use appropriate tools to put the spill material into a labeled waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and dispose of according to local and regional regulatory requirements. Check TLV in section 8 of MSDS and with local authorities.
Spill Kit information:	No specific spill kit required for this product.

SECTION 7: HANDLING AND STORAGE

Handling:	Avoid generating dust. Avoid breathing dust. Use only with adequate ventilation. Avoid prolonged or repeated contact with skin. Avoid contact with eyes. Keep container closed. Wash thoroughly after handling.
Storage:	Keep container dry. Keep containers sealed until ready for use.

SECTION 8: EXPOSURE CONTROL / PERSONAL PROTECTION

Exposure Levels: <u>Component</u>	OSHA		ACGIH	
	TWA	PEL	TWA	TLV
TiO ₂	15 mg/m ³		10 mg/m ³	

Personal Protection:

Eye:	Safety glasses with side shields or goggles
Body:	Lab coat
Respiratory:	Use NIOSH/MSHA approved air-purifying respirator as needed to control exposure.
Hand:	Recommended: Gloves

SECTION 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Boiling Point (°C)	: N/A	Percent Volatile By Vol. (%)	: N/A
Freezing Point (°C)	: N/A	Vapor Density (Air=1)	: N/A
Melting Point (°C)	: > 1000	Evaporation Rate (Buac=1)	: N/A
Vapor Pressure (mm hg)	: N/A	Solubility In Water	: Insoluble
Bulk Density (g/cbi.)	: N/A	Appearance & Odor	: White powder. Characteristic odor

SECTION 10: STABILITY AND REACTIVITY

Stable:	Stable
Hazardous Polymerization:	None
Incompatibility:	Strong acids and strong oxidizing agents.
Hazardous Decomposition Products:	Incomplete combustion can produce carbon monoxide, carbon dioxide and nitrous dioxide.

SECTION 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION

	<u>Titanium Dioxide*</u>
Skin Irritation:	Dermal LD ₅₀ > 10 g/kg (rabbit)
Eye Irritation:	No data
Acute Oral Toxicity:	Non-toxic , LD ₅₀ > 25 g/kg (rat)
Inhalation LC₅₀:	>6.82 mg/L (4 hour)

*: Trochimowicz. et. Al., J. Appl. Tox. 8, 383-385 (1998)

Chronic Effects on Humans	<p>CARCINOGENIC EFFECTS: Classified None by NIOSH [Titanium Dioxide]. Classified A4 (not classifiable for human or animal) by ACGIH. Classifiable Group 2B (possibly carcinogenic to humans) by IARC [Titanium Dioxide].</p> <p>MUTAGENIC EFFECTS: Not available.</p> <p>TERATOGENIC EFFECTS: Not available.</p> <p>DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available.</p> <p>Repeated or prolonged exposure to the substance at concentrations above exposure limits may cause respiratory damage.</p> <p>Target Organs: eyes, lungs, skin.</p>
----------------------------------	--

Acute Effects on Humans May cause skin, eye, and respiratory irritation.

Sensitization Repeated or prolonged exposure to the substance at concentrations above the exposure limits may cause respiratory tract and lung sensitization.

Carcinogenic Effects This material is not known to cause cancer in animals or humans.

SECTION 12: ECOLOGICAL INFORMATION

Toxicity of the Products of Biodegradation: N/A

SECTION 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS

EPA Waste Number Non-hazardous waste
Treatment **Dispose of according to** all federal, state and local regulations.

SECTION 14: TRANSPORT INFORMATION

DOT Classification: Not regulated
TDG Classification: Not regulated
IMO/IMDG Classification: Not regulated
ICAO/IATA Classification: Not regulated

SECTION 15: REGULATORY INFORMATION

This product or its components are on the following inventories: European Inventory of Existing Commercial Chemicals
 Australia Inventory of Chemical Substances
 Japan Inventory of Existing & New Chemical Substances
 Canada DSL Inventory

SECTION 16: OTHER INFORMATION

Hazardous Material Information System [Ratings Key: 4= Highest hazard, 0= Lowest hazard] (U.S.A.)

Health	1
Fire Hazard	0
Reactivity	0
Personal Protection	E

Date Prepared: October 30, 2009
 By Neringa Kontrimiene
 Date Revised: December 7, 2009
 By Neringa Kontrimiene

Note:

The statements made here are based upon technical data that Kobo Products Inc. believes to be reliable, are intended to describe the product with regard to necessary safety precautions. They do not guarantee special characteristics. This information is furnished without warranty, expressed or implied, except that it is accurate to the best of our current knowledge.

Certificate of Analysis

Material Name: Folin & ciocalteu's phenol reagent, LR™; (Phenol reagent, LR™)

Material Code : RM10822
Lot Number : 0000300877

TEST	SPECIFICATIONS	RESULTS
Appearance	Yellow to greenish yellow clear	Complies
Acid Concentration (NaOH Titration)	solution 1.90 - 2.10 N	2.0133 N

STATUS : APPROVED

QC Release Date : 12.05.2017
Expiry Date : 30.06.2018



Niruki Lodhanshi

Quality Control Chemist
Chemical Division



P. R. Mishra

Manager, Quality Control
Chemical Division



Harish Motekar

Manager, Quality Assurance
Chemical Division

This is to certify that this lot passes and it confirms to the above mentioned tests and specifications. The information given here is believed to be correct and accurate, however, both the information and products are offered without warranty for any particular use, other than that specified in the current technical data.

This document has been produced electronically and is valid with out signature.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las...16:00... horas del día...06... del mes de...ABRIL... del año...2018... en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

Blgo. ALEJANDRO ROLANDO DURANO NIEVA (Presidente)
Ing. MARCO ANTONIO TORRES MARQUINA (Secretario)
Ing. SIMÓN EDMUNDO CRISTO VARGAS (Vocal)


Nombrados mediante la Resolución N° 257-2018-D-FI-UDA, para evaluar la **Tesis** intitulada:

"ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL USO DE NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A NIVEL LABORATORIO EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA OCTUBRE - DICIEMBRE 2017..." presentada por el (la) Bachiller JAZMÍN CAROLINA, SANTIAGO TALENAS, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental

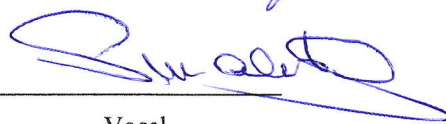
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: precediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo (a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 17 y cualitativo de MUY BUENA (Art. 47)

Siendo las...17:00... horas del día...06... del mes de...ABRIL... del año...2018... los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Presidente


Secretario


Vocal