

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“REMOCIÓN DE COLORACIÓN DE TINTES DE TEÑIDO EN
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, UTILIZANDO
PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)”**

TESIS

PRESENTADA POR:

DELGADO NINA DANIEL ANGEL

SANTANDER PACORICONA NANCY EDITH

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO –PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

**“REMOCION DE COLORACIÓN DE TINTES DE TEÑIDO EN AGUAS
RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, UTILIZANDO PROCESOS DE
OXIDACION AVANZADA (POA)”**

**TESIS PRESENTADA POR:
DELGADO NINA DANIEL ANGEL**

SANTANDER PACORICONA NANCY EDITH

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO

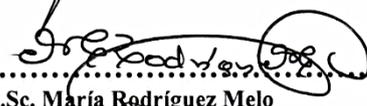
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 DE ENERO DE 2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

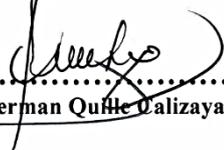
PRESIDENTE


:
M.Sc. Salomón Tito León

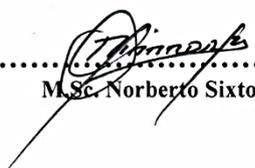
PRIMER MIEMBRO


:
M.Sc. María Rodríguez Melo

SEGUNDO MIEMBRO


:
M.Sc. German Quille Calizaya

DIRECTOR DE TESIS


:
M.Sc. Norberto Sixto Miranda Zea

AREA: PROCESO INDUSTRIAL

TEMA: TRATAMIENTO DE AGUAS

LINEA: TECNOLOGIA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo el corazón, principalmente a Dios, por haberme dado la vida, acompañarme siempre y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi padre, Ángel Delgado Benavides por darme todo lo que soy como persona mis valores, principios, consejos, mi carácter y mi coraje para poder conseguir mis objetivos.

A mi madre, Florencia Nina Alcca por su apoyo constante, por sus consejos, comprensión, amor incondicional y su ayuda en los momentos más difíciles de mí vida.

Daniel Angel Delgado Nina

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, que me ha dado fortaleza para continuar en momentos difíciles. Por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

A mi padre, Máximo Santander Rojas por su amor incondicional, por impulsarme día a día a ser mejor, por sus enseñanzas que hicieron de él símbolo de respeto y admiración.

A mi madre, Berta Pacoricona Quispe que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores y ayudarme a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanos y hermanas por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizarme.

Y a mis sobrinos Nadine, Max y Aius quienes han sido y son mi motivación y felicidad.

Nancy Edith Santander Pacoricona

AGREDECIMIENTOS

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mi padre, por el apoyo incondicional, la cual me ha permitido lograr mis anhelos

A mi madre, quien me ha consentido y apoyado en lo que me he propuesto y sobre todo ha sabido corregir mis errores.

Al Ing. Norberto Miranda Zea, director de tesis y señores jurados, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A la Universidad Nacional Del Altiplano y Facultad de Ingeniería Química, docentes que forman parte de ella. Por la formación profesional brindada.

Daniel Ángel Delgado Nina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y acompañarme en mi desarrollo profesional.

A mi padre, por sus enseñanzas compartidas conmigo y por no haber perdido nunca la confianza en mí y ser un ejemplo a seguir. Por haberme dado los recursos necesarios para estudiar.

A mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado cariño, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos y Por haberme dado los recursos necesarios para estudiar.

A mis hermanos y hermanas que con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida y son mi inspiración.

Al Ing. Norberto Miranda Zea, director de tesis y señores jurados, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A la Universidad Nacional Del Altiplano y Facultad de Ingeniería Química, docentes que forman parte de ella, Por la formación profesional brindada.

Nancy Edith Santander Pacoricona

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN.....	15

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	20
1.2 ANTECEDENTES	21
1.3 OBJETIVOS	25
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.4 JUSTIFICACIÓN	26
1.5 HIPÓTESIS	28
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	28
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	29

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. EL AGUA.....	30
2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES	32
2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	36
2.4. OZONO.....	45
2.5. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	47
2.6. PERÓXIDO DE HIDROGENO	49
2.7. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA.....	51
2.8. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA NO FOTOQUÍMICOS ..	55
2.9. OZONIZACIÓN	55
2.10. OZONIZACIÓN CON H ₂ O ₂	56
2.11. TECNOLOGÍAS DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA	

(POA)	57
2.12. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA	59
2.13. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA HOMOGÉNEOS CON APORTE DE ENERGÍA MEDIANTE RADIACIÓN UV.	60
2.14. MARCO CONCEPTUAL	65

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	67
3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS:	67
3.2.1. EQUIPOS Y MATERIALES:.....	67
3.2.2. REACTIVOS E INSUMOS	68
3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	68
3.3.1. TOMA MUESTRA	68
3.3.2. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTANDAR.....	69
3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA	69
3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL BLUE R-19	70
3.3.5. PRUEBAS CON AGENTE OXIDANTE H ₂ O ₂	70
3.3.6. FUENTES DE RADIACIÓN.....	72
3.3.7. SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	73
3.3.8. PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)	76

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN.....	80
4.1.1. DQO.....	80
4.1.2. pH	80
4.1.3. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA.....	80
4.1.4. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL BLUE R-19	82
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES	

TiO ₂ /H ₂ O ₂	83
REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	85
REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	87
REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES TiO ₂ / Fe/H ₂ O ₂	88
REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	90
REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	91
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	TÉCNICAS DE OXIDACION AVANZADA MÁS UTILIZADOS.....	39
TABLA 2:	PROPIEDADES FÍSICAS	45
TABLA 3:	PROPIEDADES QUÍMICAS:	46
TABLA 4:	TERMOQUÍMICA :	46
TABLA 5:	RIESGOS :	46
TABLA 6:	SUBTIPOS DE RAYOS ULTRAVIOLETA	48
TABLA 7:	PROPIEDADES FÍSICAS:	50
TABLA 8:	PROPIEDADES QUÍMICAS:	50
TABLA 9:	TERMOQUÍMICA:	50
TABLA 10:	RIESGOS:	50
TABLA 11:	CAPACIDAD DE OXIDACIÓN, MEDIDA A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE OXIDACIÓN	53
TABLA 12.	RADICALES LIBRES GENERADOS DE FORMA NATURAL EN LAS AGUAS RESIDUALES	58
TABLA 13:	DETERMINACIÓN DE LONGITUD DE ONDA PARA TINTE AZUL BLUE (R-19).....	81
TABLA 14:	CURVA DE CALIBRACIÓN DEL TINTE AZUL BLUE (R-19)	82
TABLA 15:	REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2$	85
TABLA 16:	REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV$	86
TABLA 17:	REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV + O_3$	88
TABLA 18:	REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2$	89
TABLA 19:	REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2 + UV$	91
TABLA 20:	REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2 + UV + O_3$	92
TABLA 21:	VARIACIÓN DEL pH EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.	93
TABLA 22:	VARIACIÓN DEL DQO EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.	93
TABLA 23:	VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCION EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.....	94
TABLA 24:	REMOCIÓN DE LA DQO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO POR OXIDANTES DEL POA EN SOLUCIONES ESTANDAR Y AGUA RESIDUAL DEL TINTE DE TEÑIDO AZUL BLUE	95

TABLA 25: VARIACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.	96
TABLA 26: REMOCIÓN DEL NITRÓGENO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO POR OXIDANTES DEL POA EN SOLUCIONES ESTANDAR Y AGUA RESIDUAL DEL TINTE DE TEÑIDO AZUL BLUE R-19.....	96
TABLA 27: COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES POA.....	97

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	37
FIGURA 2: DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE UN CONTAMINANTE ORGÁNICO.....	63
FIGURA 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA) EN EL LABORATORIO.....	73
FIGURA 4: PAR IÓNICO AZUL BLUE (R-19).....	78
FIGURA 5 : ESPECTROFOTÓMETRO THERMO- SCIENTIFIC GENESYS 10S.....	78
FIGURA 6: DETERMINACIÓN DE LONGITUD DE ONDA TINTE AZUL BLUE R-19	81
FIGURA 7: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL TINTE AZUL BLUE (R-19)	82
FIGURA 8: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2$	85
FIGURA 9: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV$	87
FIGURA 10:REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV + O_3$	88
FIGURA 11:REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2$	90
FIGURA 12:REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2 + UV$	91
FIGURA 13:REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2 + UV + O_3$	92

RESUMEN

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanos e industriales que presentan compuestos orgánicos recalcitrantes y refractarios en concentraciones elevadas no biodegradables, composición variable del que es necesario recurrir a otras alternativas de tratamiento, dentro de estos se tiene los procesos de oxidación avanzada (POA), que implican la formación de radicales hidroxilo (OH^\cdot), de elevado potencial de oxidación que remocionan los contaminantes recalcitrantes y refractarios para lograr una mayor y mejor calidad del agua residual para su depuración a las fuentes receptoras. Los Objetivos para el desarrollo del trabajo de investigación son de determinar la capacidad de degradación de materia orgánica genérica recalcitrante evaluados como concentraciones de la remoción de la DQO y la decoloración de tintes de teñido (% de remoción), en soluciones estándar y en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de: ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$), ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$), ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$), ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) y ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$) con control de pH y temperatura; teniéndose los mejores rendimientos de remoción para el DQO 75.68 % con el POA ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) a pH 6.8 y a una temperatura de 12 °C, el mejor rendimiento de remoción de la decoloración de tinte textil Azul Blue (R-19) del 95.44 % en soluciones estándar y del 89.06 % de rendimiento la muestra de agua residual de la industria textil de tintes de teñido, ambos tratados por el POA ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$) a pH 7.8 y a una temperatura de 12 °C.

Palabras clave: Agua residual, DQO, POA, Ozono, Peróxido de Hidrogeno, Radiación UV, Remoción,

ABSTRACT

The systems of treatment of urban and industrial wastewater that are recalcitrant and refractory organic compounds in concentrations not biodegradable, variable composition of which it is necessary to resort to other treatment alternatives, within these you have advanced oxidation processes (AOP), which involve the formation of hydroxyl radical (OH⁻), of high potential of oxidation that remocionan recalcitrant pollutants and refractory to achieve greater and better quality of wastewater for the purpose of debugging to be receptive. The objectives for the development of the work of research are to determine the ability of organic matter degradation generic recalcitrant evaluated as concentrations of the removal of (COD) and discoloration of dyes had (% of removal), in standard solutions and in wastewater from the textile industry, using advanced oxidation processes (AOP): (TiO₂/H₂O₂), (TiO₂/H₂O₂/UV), (TiO₂/H₂O₂/UV/O₃), (TiO₂/Fe²⁺ /H₂O₂), (TiO₂/Fe²⁺ /H₂O₂/UV) and (TiO₂/Fe²⁺ /H₂O₂/UV/O₃) with control of pH and temperature; taking the best yields of removal for the (COD) 75.68 % with the POA (TiO₂/Fe²⁺ /H₂O₂/UV) at pH 6.8 and at a temperature of 12 °C, the best performance of removal of the discoloration of textile dyeing Blue Blue (R-19) of 83.02 % in standard solutions And 89.06 % of performance of the sample of residual water from the textile industry of dyes, both treaties by the POA (TiO₂/Fe²⁺ /H₂O₂/UV/O₃) at pH 7.8 and at a temperature of 12 °C.

Keywords: AOP, (COD), hydrogen peroxide, ozone, UV radiation, residual water, Removal,

INTRODUCCIÓN

La industria textil es una de las más importantes de nuestro país. Sin embargo, es una de las industrias con mayor consumo de agua y las aguas residuales que se generan contienen un gran número de contaminantes de diferente naturaleza. El proceso de elaboración de productos textiles consiste en un gran número de operaciones unitarias que utilizan diversas materias primas como algodón, lana, fibras sintéticas y tintes o colorantes. Más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados en diferentes industrias como la textil, papelera, cosmética y farmacéutica, entre otras. Muchas actividades industriales liberan grandes cantidades de efluentes contaminadas con colorantes al ambiente.

(CHURA, I, Y. 2014).

En la etapa del proceso conocida como de “tintorería y acabados” se generan efluentes líquidos que contienen contaminantes de muy diversa naturaleza, entre ellos sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tenso activos, enzimas, surfactantes, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura. Una fracción importante de estos contaminantes son los residuos de colorantes textiles. Estos compuestos químicos son poco biodegradables, por lo que presentan gran persistencia en el medio ambiente y los métodos de tratamiento biológicos clásicos no son eficientes en su remoción. Además, la fuerte coloración que imparte a cuerpos de descarga puede llegar a suprimir los procesos fotosintéticos en corrientes de agua, por lo que su presencia debe ser controlada.

Los efluentes de la industria textil se caracterizan por fluctuaciones extremas en parámetros, tales como: la demanda química de oxígeno (DQO), la

demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH, color y salinidad. Algunos de los parámetros característicos de estos efluentes son los siguientes:

- Color visible (350 – 800 nm)
- Demanda química de oxígeno (800-1600 mg/L))
- pH alcalino (9-11)
- Sólidos totales (6000-7000 mg/L) CHURA, I, Y. (2014).

Por otro lado, la cada vez más exigente reglamentación en materia de vertidos para su incorporación a las redes de saneamiento o su descarga directa al entorno, obliga a este sector industrial a adecuar la calidad de sus efluentes mediante la implantación de métodos de tratamiento adecuados. La puesta en marcha de procesos de depuración innovadores, eficaces y fiables, acompañados de una creciente política de reciclado de aguas, es una solución que atrae un creciente interés. **(Almecija et al., 2010)**.

En este sentido, el tratamiento mediante Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs, siglas en inglés de Advanced Oxidation Processes) de aguas contaminadas con productos orgánicos tóxico y/o difícilmente biodegradable se perfila como un método adecuado y con grandes posibilidades de desarrollo a corto plazo. Los POA consisten en una oxidación química en condiciones de presión y temperatura ambiente, con la cual se puede llegar hasta la mineralización completa de los contaminantes.

El agente oxidante es un radical denominado hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), el cual posee una elevadísima capacidad oxidante, es no selectivo y presenta tiempos de reacción muy cortos. La versatilidad de los POA se debe al hecho de que existen diferentes formas de producir los radicales hidroxilo y puede escogerse cual utilizar, dependiendo de los requerimientos específicos de cada agua

residual. (Almecija et al., 2010).

En este trabajo se determina si la degradación de materia orgánica recalcitrante es óptimo en solución estándar en tinte textil Azul Blue (R-19) y en aguas residuales de la industria textil, los cuales serán evaluados por valores de la demanda química de oxígeno (DQO) y selectivos por procesos de oxidación avanzada (POA) de: ((TiO₂/H₂O₂), (TiO₂/H₂O₂/UV), (TiO₂/H₂O₂/UV/O₃), (TiO₂/Fe²⁺), (TiO₂/Fe²⁺/H₂O₂), (TiO₂/Fe²⁺/H₂O₂/UV) y (TiO₂/Fe²⁺/H₂O₂/UV/O₃) con control de pH y temperatura.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La protección y conservación de los recursos naturales hoy en día constituye una de las principales preocupaciones sociales, entre estos recursos destaca sobremanera el agua como un bienpreciado y escaso, lo que conduce a su adecuado uso y reciclaje como agua tratada. La necesidad de preservar el recurso agua y el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos más eficientes en el tratamiento del agua para la eliminación de compuestos químicos contaminantes fundamentalmente por su toxicidad y baja biodegradabilidad por tratamientos físico-químicos y biológicos. Así mismo es necesario cumplir las normas legales que imponen criterios cada vez más estrictos para lograr una mayor y mejor calidad del agua residual para su depuración a las fuentes receptoras (**Robinson 2013**).

En la actualidad diversas industrias que evacuan aguas residuales a fuentes receptoras, presentan elevado potencial contaminante debido a que sus procesos productivos generan grandes volúmenes de efluentes de naturaleza refractaria y recalcitrante; efluentes que son perjudiciales en el proceso de tratamiento de aguas en las plantas de tratamiento de aguas

residuales (PTARs), en el que generalmente se utilizan métodos de tratamiento físico-químico y biológico, métodos de procesos de tratamiento de aguas residuales que no remueven compuestos refractarios y recalcitrantes del agua por efluentes industriales en especial de las industrias textiles cuyo producto del uso de tintes para el teñido presentan el desprendimiento de colores en el agua residual, componentes con los que se contaminan al descargar sus efluentes a fuentes naturales receptoras del agua, cuyas consecuencias evitan el desarrollo del proceso de fotosíntesis y por lo tanto una mala oxigenación en el agua; por lo que su presencia debe ser controlada para inhibir el rendimiento o ser tóxicos para la biota que es responsable de la remoción de los contaminantes. **(T Rodriguez - 2013).**

Muchas de las industrias tales como la textil, que en sus procesos de “tintorería y acabados” generan efluentes líquidos que contienen contaminantes de muy diversa naturaleza, entre ellos sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tensoactivos, enzimas, surfactantes, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura, componentes que en una parte es de difícil y resistentes a la degradación y permanecen como reminiscentes después del tratamiento por procesos físico-químicos y biológicos; siendo los componentes que generan la contaminación refractaria y recalcitrante en las aguas residuales, ya que muchas de las sustancias residuales orgánicas producidas por estas industrias son tóxicas y al ser sometidos a un tratamiento terciario de Procesos de Oxidación Avanzada (POA) dan lugar a la mineralización completa de los contaminantes del proceso de la fase de tintorería y acabados textiles, obteniéndose como producto final, el CO₂, Agua y compuestos inorgánicos mineralizados, parámetros que son evaluados por el

contenido de la concentración del DQO y del Color Espectral del tinte utilizado en el proceso de teñido, que deben tener concentraciones por debajo de los valores máximo admisibles para su descarga a la red del alcantarillado sanitario. (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA. Perú.)

De estas razones surge la necesidad de combinar los procesos de tratamiento del agua residual por tratamientos secundario físico-químicos y biológicos y complementar por métodos de tratamiento terciario de procesos de oxidación avanzada (POA), con el fin de cumplir con los valores límites máximos admisibles exigidos por la Legislación Ambiental Nacional.

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿En qué medida el tratamiento de efluentes de aguas residuales de la industria textil por Proceso de Oxidación Avanzada, tiene incidencia en mejorar el nivel de la calidad del agua para la degradación del material recalcitrante orgánico y decoloración del agua contaminada con colorantes textiles?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ¿En qué medida los Procesos de tratamientos por Oxidación Avanzada permitirán la remoción eficiente de contaminantes recalcitrantes en efluentes del agua residual con colorantes textiles?
- ¿En qué medida serán eficientes los Procesos de Oxidación Avanzada para el tratamiento y remoción de materia recalcitrante orgánica de decoloración del agua contaminada con colorantes textiles?

1.2 ANTECEDENTES

Chura, L, Y. (2014), Procesos de coagulación y floculación.

Tratamiento y manejo de Efluentes de Aguas Residuales de la Industria Textil, para la Remoción de Tensoactivos por Coagulación y floculación. Caracterizó las aguas residuales en la Empresa textil San Francisco SR. Ltda. Ciudad de Juliaca-Región Puno, Perú. Las muestras del trabajo de investigación contenían tensoactivos de 198 mg/L. y sustancias sólidas de 1650 mg/L y un color intenso variado. Los tensoactivos producen la formación de espumas y concentran impurezas en el agua residual, disminuyendo la absorción del oxígeno de la atmósfera por la aparición de una película aislante que se forma en la superficie del agua. La cantidad de tensoactivos supera los límites máximo permisibles (LMP) para la Clase I. (Deben ser ausentes). Ley general de aguas contaminadas Decreto 253/79.

Para el tratamiento se utilizó coagulante sulfato de aluminio, siendo la dosis óptima de 100 mg/L a una velocidad de agitación de 150 rpm por un tiempo de 30 min, y un pH de 7,5 para una remoción máxima del tenso activo del 100% y con la permanencia del color intenso variado (contaminante refractario); para lo cual recomienda que se deben realizar tratamientos por oxidación para remoción del contaminante refractario.

Oyama, T. (2004), En su trabajo de tesis, Universitario, empleó el método de fotocatalisis heterogénea con TiO_2 para degradar la concentración residual de un detergente comercial con contenido de surfactante aniónico y agentes blanqueadores en aguas residuales. En condiciones de dispersión acuosa del fotocatalizador con presencia de aireación e irradiación solar directa, se obtuvieron la remoción global del 86% de la concentración residual

del detergente comercial con contenido de surfactante aniónico y agentes blanqueadores, utilizando 6 g/L de TiO_2 , para un flujo del agua residual de 4,91 L/min, a un pH de 4,9 para una valoración de reacción de primer orden.

Chen et al. (2007). Procesos de oxidación avanzada, de ozono y radiación ultra violeta (O_3/UV). Degradación del dinitrotolueno y trinitrotolueno (TNT). Consiguieron una eficiencia de mineralización del carbono orgánico total (COT) con un proceso O_3/UV que alcanzaba niveles del 94%, con una radiación UV de 96 W y una corriente de ozono de 3.8 g/h. Observaron un incremento de la eficiencia del 76,4% al emplear la radiación UV, equivalente a la obtenida al emplear solamente ozono para la degradación de los compuestos. Al añadir al proceso iones Fe^{2+} no se obtuvo mejora en el valor de la eficiencia. Los nitrotoluenos son importantes por ser intermediarios que se tienen en las industrias de tintes, en productos farmacéuticos y como precursor del explosivo TNT.

Lau y Graham (2007). Remoción de compuestos usados en agricultura como insecticidas de carbonatos, entre ellos se tomó, el carbofuran (CBF): se encuentra contaminando tanto las superficies de las aguas como las aguas residuales. consiguieron una eliminación completa de una concentración de 0,2 mM de CBF y alcanzaron una mineralización del 24% tras 30 minutos con una intensidad de radiación UV y un flujo de ozono saturado (0,018mM) de 1 L/min. La disminución de CBF se ve acelerada al ir aumentando el valor del pH en el medio; de hecho con un valor de 10 ya se consigue su eliminación completa del medio.

Muruganandham et al. (2007). En la industria química, uno de los compuestos empleados como disolvente industrial es la N-metil-2-pirolidona

(NMP). Debido a la presencia del enlace $C = 0$ es de esperar que sea reactiva hacia el ozono. Emplearon el método O_3/UV para la degradación de este compuesto. Con una intensidad de radiación UV de $5,5 \text{ mW /cm}^2$, una temperatura de 25°C y un pH de 10 alcanzaron una velocidad de eliminación de COT del 56.2%. La concentración tratada de contaminante fue de 1 g/L con una dosis de ozono (44.5 mg/L de concentración) de 18,4 mg/L. Al tratar concentraciones de NMP más bajas (500 mg/L) se produce una eliminación total de COT tras 5 horas de tratamiento.

Kroger y Fels (2007). Procesos de oxidación avanzada con peróxido de hidrogeno y radiación ultravioleta (H_2O_2/UV). Han empleado este método para eliminar TNT y sus derivados aminodinitrotolueno (ADNT) y diaminonitrotolueno (DANT). Con una concentración de H_2O_2 de 2,5% se consigue la degradación en tan solo 5 horas, mientras que si la concentración disminuye hasta un 0.15%, la degradación se logra en 24 h. en este caso la concentración de TNT tratada fue de 50 mg/L, con un pH en el medio de 3, y se empleó una lámpara de xenón de 150 W. se observa que al ir aumentando la concentración de peróxido de hidrogeno de 0,15 a 1 %, aumentaba la mineralización del tóxico, mientras que a partir del 1% hasta 2,5% no se produce más incremento. De esta forma, la concentración óptima de H_2O_2 parece ser de 1%, lo que se traduce en una relación molar H_2O_2/TNT de 1350:1.

Estos mismos autores llevaron a cabo la degradación de los derivados del TNT. Observaron que la mineralización de ADNT era más rápida que la del propio TNT, y se puede lograr una conversión de más del 80% en 24 horas. En este caso la concentración de tóxico era de 0.22 mmol/L y se empleó una

concentración de H_2O_2 del 1% a pH 3 y una lámpara de xenón de 150 W.

Yonar *et al.* (2005). También para tratar efluentes procedentes de las industrias textiles, emplearon este método. Los ensayos se realizaron a pH 3, con un caudal de ozono de 2 g/h y variando la concentración de peróxido de hidrogeno desde 10 hasta 100 mg/L; se alcanzan de este modo eliminaciones de DQO superiores al 93% para todos los casos tras una hora de tratamiento. No se observó diferencia entre la eliminación de la DQO al emplear concentraciones de H_2O_2 de 25 y 100 mg/L (97% de eliminación tras una hora), de forma que se consideró el óptimo a 25 mg/L, y con todo ello se obtuvo una eliminación del color del 99%.

Shu (2006). Comprobó los datos obtenidos en una investigación anterior con otro efluente de una industria de tintes, más concretamente con el colorante CI azul 199. Comprobó, como anteriormente, que el proceso de ozonización eliminaba más del 80% del color del efluente entre 5 y 15 minutos y solamente el 60% del COT, mientras que el tratamiento con H_2O_2/UV tardaba mucho más en eliminar el color pero degradaba con más facilidad el COT (80% en 30-120 minutos). La radiación UV empleada fue de 253,7 nm y 560W. Al unir ambos procesos se podía lograr una eliminación tanto del color como del COT superior al 90%, en 118 minutos de ozonización y 35 minutos de tratamiento con H_2O_2/UV .

Shu y Chang (2005). Procesos de oxidación avanzada de ozono – peróxido de hidrogeno y radiación ultravioleta ($O_3/H_2O_2/UV$). Para la degradación de un colorante empleado en la industria textil (CI ácido negro 22). Estos autores encontraron que el proceso con H_2O_2/UV necesitaba más tiempo para eliminar el color que la ozonización, y por el contrario la eliminación del

COT del efluente era más eficiente con el método $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ (99%) que con la ozonización (33%) para 160 minutos de tiempo de retención. Por lo tanto se propuso una unión de ambos métodos para conseguir una reducción de los dos parámetros de interés. La radiación UV empleada era de 253,7 nm y 560 W. De esta forma, con 15 minutos de pre ozonización seguida del tratamiento con $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ se eliminaba el color y el COT con una eficiencia de 90%.

Castañeda, Jiménez, A.C. (2011). Dosificación de Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$). indica que para averiguar la dosis optima de los reactivos se parte de la concentración de DQO del efluente para poder obtener el peróxido de hidrogeno estequiométrico necesario para llevar acabo la oxidación de la materia orgánica según la fórmula:



Dicha fórmula establece una relación entre la DQO (oxígeno necesario para oxidar la muestra) y el agente oxidante. La relación es de 1g de DQO= 0.03125 mol O_2 = 0.0625 mol H_2O_2 por metro cubico de agua residual e la industria petrolera (ARIP)(Blanco Jurado, 2009, citado por Castañeda, Jiménez, A.C. 2011).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la remoción (rendimiento) de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada (POA).

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el rendimiento (% remoción) de la degradación de materia orgánica genérica recalcitrante en soluciones estándar en tinte textil Azul Blue (R-19) y en agua residual de la industria textil, cuantificado por la Demanda Química de Oxígeno (DQO), aplicando procesos de oxidación avanzada (POA) de: $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ con control de pH y temperatura.
- Determinar el rendimiento de remoción de decoloración del tinte de teñido en soluciones estándar en tinte textil Azul Blue (R-19) y en efluentes de agua residual de la industria textil; aplicando Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de: $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ con control de pH y temperatura.

1.4 JUSTIFICACIÓN

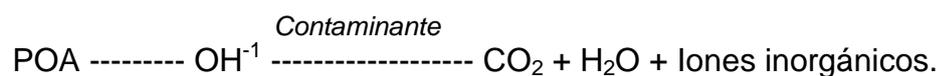
Los sistemas de tratamiento terciario de aguas implantados en las depuradoras de aguas residuales urbanas e industriales, como son: La micro y ultra filtración, ósmosis inversa, adsorción con carbón activado, filtro de arenas, tratamiento por lodos activados, etc., parecen no ser suficientemente eficaces para conseguir aguas con un mínimo contenido en la remoción de los contaminantes más persistentes o de vertido más continuo como son los fenoles, plaguicidas, disolventes, fármacos, productos de higiene personal, productos residuales de la industria textil en especial del proceso de “tintorería y acabados” en el que se generan efluentes líquidos que contienen

contaminantes de muy diversa naturaleza, entre ellos sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tensoactivos, enzimas surfactantes, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura (Gutarra et al., 2001). Una fracción importante de estos contaminantes refractarios y recalcitrantes en el agua residual de la industria textil, son los residuos de colorantes textiles, los mismos que presentan gran persistencia en el medio ambiente del agua residual y al ser sometidos a medios de tratamiento físico-químico y biológicos clásicos, estas no son eficientes en su remoción con consecuencias de que la coloración que imparten en las fuentes de los cuerpos de descarga, puede llegar a suprimir los procesos naturales fotosintéticos cuya consecuencia es la baja concentración de oxígeno disuelto (OD), en dichas corrientes de aguas, por lo que su presencia debe ser controlada.

Para el presente trabajo de investigación, se propone la remoción de contaminantes del agua por residuos del proceso de la industria textil de la fase de tintorería y acabados; para el que proponemos un tratamiento que logre este objetivo. El problema de la remoción eficiente de estos contaminantes ha generado el desarrollo de los procesos de oxidación e incidencia de energía espectral que implican la formación de radicales hidroxilo (OH^\cdot), para el tratamiento del agua residual, técnica de “Proceso de Oxidación Avanzada” (POA), proceso que dará lugar a la mineralización completa de los contaminantes de la fase de tintorería y acabados, obteniéndose como producto CO_2 , agua, compuestos inorgánicos o al menos su transformación en productos inocuos.

Los “Proceso de Oxidación Avanzada” (POA), que se propone utilizar, son los procesos de oxidación (O_3/UV), ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), ($\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$), tratamientos que

tienen la característica química en la producción de radicales OH° ; estos radicales son especies muy radiactivas y atacan a la mayoría de las moléculas orgánicas, caracterizándose por una alta selectividad en la remoción de sustancias químicas refractantes y recalcitrantes, cuyo proceso químico genérico se sustenta en la siguiente reacción química:



Por otro lado para el presente trabajo de investigación se propone la combinación de los tres procesos de oxidación para evaluar el mejor rendimiento para producir una aceleración en la remoción de los contaminantes del agua por colorantes orgánicos e inorgánicos refractarios y recalcitrantes, residuales de tintorería y acabados en aguas residuales de la industria textil, cuyas muestras se obtendrán en la Ciudad de Juliaca de la Región Puno.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

La capacidad de degradación de materia orgánica recalcitrante y la remoción (rendimiento) por decoloración de tintes de teñido, en aguas residuales de la industria textil, se logra utilizando Procesos de Oxidación Avanzada (POA).

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La degradación de materia orgánica recalcitrante es óptimo en solución estándar en tinte textil Azul Blue (R-19) y en aguas residuales de la industria textil, son evaluados por valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y selectivos por procesos de oxidación avanzada (POA) de: $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ con control de pH y temperatura.
- El rendimiento de la remoción de decoloración de tinte de teñido en soluciones estándar en tinte textil Azul Blue (R-19) y en efluentes de agua residual de la industria textil; se logra por Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de: $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ con control de pH y temperatura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. EL AGUA

El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El termino agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmosfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. **(MARIN, G, R. 2012).**

Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación y transpiración (evapotranspiración), precipitación y desplazamiento hacia el mar. Se estima que aproximadamente el 70% del agua

dulce es usada para agricultura. El agua en la industria absorbe una medida del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante. **(MARIN, G, R. 2012).**

AGUAS RESIDUALES

La contaminación actúa sobre el medio ambiente acuático alterando el delicado equilibrio de los diversos ecosistemas integrado por organismos productores, consumidores y descomponedores que interactúan con componentes sin vida originando un intercambio cíclico de materiales. Aunque el hombre no es un ser acuático, ha llegado a depender intensamente del medio ambiente acuático para satisfacer sus necesidades tecnológicas y sociales.

Las aguas residuales constituyen un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos, siendo necesarios los sistemas de depuración antes de evacuarlas, como medida importante para la conservación de dichos sistemas.

Las aguas residuales, contaminadas, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso de diversas actividades. También se denomina vertidos. Se trata de aguas con un alto contenido de elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que son evacuadas. Del total de vertido generado por los focos de contaminación, solo una parte será recogida en redes de saneamiento, mientras que el resto será evacuado a sistemas naturales directamente. **(García, Osorio, J – 2013)**

TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Aguas residuales industriales y urbanas.

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo

proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, definiendo las características de los vertidos no solo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Es mucha más contaminada que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

Las aguas residuales urbanas son las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial. Donde las aguas residuales domésticas son las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. **J (García, Osorio, J – 2013)**

2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES

Actualmente, la contaminación de los cauces naturales tiene su origen en tres fuentes. **(García, Osorio, J – 2013).**

CONTAMINANTES ORGÁNICOS

Son compuesto cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

Proteínas: proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.

Carbohidratos: incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.

Aceites y grasas: altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

Otros: incluiremos varios tipos de compuestos, como los tensoactivo, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad. **(García, Osorio, J – 2013).**

CONTAMINANTES INORGÁNICOS

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc.

Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante. **(García, Osorio, J – 2013)**

CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES:

Arenas

Entendemos como tales una serie de partículas 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, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar. **(García, Osorio, J – 2013)**

Grasas y aceites

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, 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. **(García, Osorio, J – 2013)**

Residual con requerimiento de oxígeno

Son compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación, que van a llevar a cabo con un consumo de oxígeno del medio. Estas oxidaciones van a realizarse bien por vía química o bien por vía biológica. **(García, Osorio, J – 2013)**

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 excretas humanas. **(García, Osorio, J – 2013)**

CONTAMINANTES RECALCITRANTES EN EL AGUA

En el tratamiento de aguas residuales o efluentes industriales se pueden determinar una serie de contaminantes como contaminantes recalcitrantes. Los contaminantes recalcitrantes son aquellos que por tener una estructura muy estable químicamente, se resisten a su remoción por microorganismos o de cualquier mecanismo de degradación sea biológica, física o química. Dentro de este tipo de contaminantes podemos mencionar a hidrocarburos, compuestos

fenólicos, disolventes halogenados, colorantes y compuestos aromáticos.

En el proceso de biodegradación de estos compuestos por ser altamente resistentes, estos requieren utilizar catalizadores para acelerar el proceso de degradación. En el proceso de tratamiento terciario de aguas residuales, las bacterias mediante su metabolismo, en el proceso de descomposición de los contaminantes, generan un flujo de electrones y lo que hace el catalizador es acelerar esa transferencia de electrones en el metabolismo de las bacterias. En presencia de energía lumínica, es entonces que los electrones van a ser transferidos a los contaminantes para destruirlos y convertirlos en moléculas más simples e inocuas. **(OSORIO, R, F. 2010)**

CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR MATERIA ORGÁNICA REFRACTARIA

La materia orgánica refractaria son compuestos resistentes a la degradación microbiana. Se deben tener en cuenta las características específicas del agua residual y la naturaleza de los compuestos tóxicos para la elección de los métodos de tratamiento por oxidación. **(OSORIO, R, F. 2010)**

OXIDACIÓN QUÍMICA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En el tratamiento de aguas residuales, el proceso de oxidación química se utiliza para eliminar amoníaco, compuestos refractarios, compuestos tóxicos alifáticos y aromáticos halogenados y para reducir el contenido bacteriano y vírico del agua residual. Este proceso de oxidación química en presencia de espectros de energía radiante de UV, remocionan contaminantes recalcitrantes de coloración de procesos textiles.

Se ha visto que para oxidar el amoníaco se utiliza cloro, pero presenta el

problema de la formación de trihalometanos. Se pueden utilizar otros oxidantes como el ozono o el dióxido de cloro que además tienen la ventaja de que son desinfectantes. El ozono también elimina el color recalcitrante de las aguas residuales. **(OSORIO, R, F. 2010)**

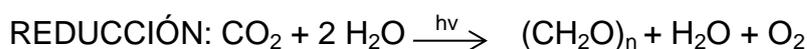
2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TRATAMIENTO PRIMARIO.

Los tratamientos primarios de los contaminantes de un cuerpo de agua, básicamente son tratamientos físicos. El cribado es utilizado para la remoción de sólidos en suspensión donde, a través de rejillas, los materiales flotantes gruesos son separados. La sedimentación es utilizada para separar sólidos en suspensión de tamaño pequeño. Este método se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. La flotación es un proceso utilizado para separar sólidos de baja densidad. También se incluye los métodos de coagulación para la remoción de material en suspensión y los métodos de absorción. **(Ramalho, R, S.1996)**

TRATAMIENTOS SECUNDARIOS.

Los tratamientos secundarios de los cuerpos de agua incluyen procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, en lagunas de estabilización del tipo de oxidación, anaeróbicas, facultativas y tratamientos con lodos activados que, por acción de bacterias y algas, oxidan o reducen los componentes orgánicos contaminantes del agua. **(Ramalho, R, S.1996)**



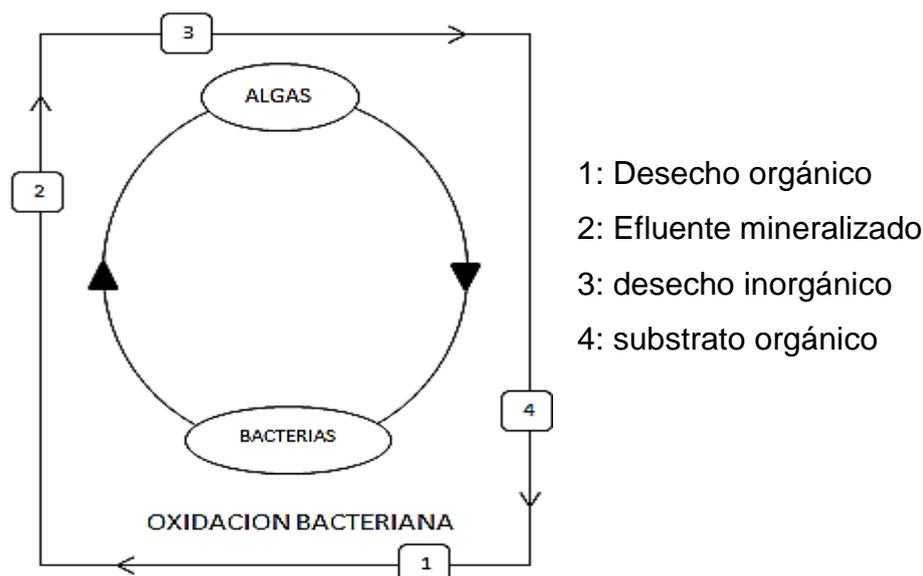
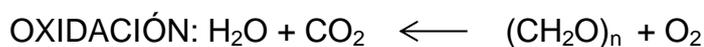


FIGURA 1: TRATAMIENTOS SECUNDARIOS



TRATAMIENTOS TERCARIOS

Son métodos de tratamiento avanzado, de naturaleza biológica, química o por radiación. En estos tratamientos, la eliminación, de los compuestos tóxicos persistentes para la biótica acuática, se realiza mediante la mineralización completa del contaminante y, en otros casos, se busca que el compuesto inicial se degrade a compuestos inocuos. Estos tratamientos terciarios se realizan solo cuando el contenido de contaminante se encuentra en pequeñas concentraciones. (Ramalho, R, S.1996)

TÉCNICAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUA

Las técnicas o Procesos Avanzados de Oxidación (TAOs, PAOs) son procesos fisicoquímicos que pueden producir cambios significativos en la estructura química de algunos contaminantes, consiguen comúnmente una mineralización

total de éste, son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento principalmente el biológico, se usan para tratar contaminantes a muy baja concentración (*ppb*), consumen generalmente menos energía que otros métodos como la incineración y normalmente no producen lodos que necesiten un posterior tratamiento y/o disposición posterior.

Igualmente se definen como aquellos procesos de oxidación que involucran la generación y uso de especies transitorias como el radical hidroxilo (OH^\cdot) en cantidad suficiente para interaccionar con los compuestos orgánicos del medio y llegar incluso a reaccionar 10^6 - 10^{12} veces más rápido que los oxidantes alternativos como el ozono.

Estas técnicas fueron recopiladas de la bibliografía y posteriormente organizadas como se observa en la tabla 1, en la cual se catalogan en procesos no Fotoquímicos o Fotoquímicos dependiendo de la presencia o ausencia de radiación luminosa. Para la degradación de colorante directo Azul Novasyn Luz BRL (130%) en una muestra de agua sintética preparada a nivel laboratorio y una muestra de agua residual industrial con contenido de este colorante, se trabajó con una técnica fotoquímica clasificada como fotocatalisis heterogénea. **(Morrison S.R. 1997)**

TABLA 1: TÉCNICAS DE OXIDACIÓN AVANZADA MÁS UTILIZADOS.

Técnicas	Clasificación
Fotoquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UUV) • UV/H₂O₂ • UV/O₃ • Foto-Fenton • Ferrioxalato y otros complejos de Fe(III) • UV/Peryodato • Fotocatálisis heterogénea
No Fotoquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Ozonización en medio alcalino (O₃/OH⁻) • Ozonización con peróxido de Hidrogeno (O₃/H₂O₂) • Procesos Fenton (Fe⁺²/ H₂O₂) y relacionados • Oxidación electroquímica • Radiólisis y tratamiento con haces de electrones • Plasma no térmico • Descarga electrohidráulica – Ultrasonido • Oxidación en agua subterránea y supercrítica

Fuente. Morrison S.R. (1997)

FOTOCATÁLISIS

El proceso de fotocatalisis es considerado como la aceleración de una fotorreacción mediante la presencia de un catalizador el cual es activado por la absorción de una fuente de energía radiante, lo que acelera la reacción con el reactivo mediante la aparición de pares electrón-hueco (e⁻ y h⁺), siempre que el catalizador sea semiconductor.

El proceso de fotocatalisis se ha venido estudiando desde hace un par de décadas, lo que conlleva a determinar que en el campo de la investigación en el tratamiento de agua residual industrial fundamentalmente, esta tecnología es relativamente nueva e innovadora frente a técnicas convencionales cuanto a degradación de contaminantes por oxidación se trata, incluso se le ha llegado a

denominar “tecnología sostenible” partiendo que su insumo principal es la energía radiante (visible o UV), utilizando en muchas ocasiones como fuente lumínica el sol.

Partiendo que la radiación UV es capaz de destruir la materia orgánica, es importante mencionar que, en el caso aplicado a la degradación de colorantes, la eficiencia de esta técnica puede llegar a decaer significativamente como resultado de la reactividad y fotosensibilidad que presentan estos mismos. En el campo de la industria textil la gran mayoría de colorantes usados poseen características de solides frente a la luz lo que impide en algunos casos a que el uso de energía radiante en forma de UV no sea suficientemente eficaz. Por tal causa, la técnica es bastante útil si se cumplen las siguientes condiciones:

- Concentración orgánica máxima de varios cientos de mg/L: dependiendo de la naturaleza del contaminante, la fotocatalisis es eficiente cuando este mismo está presente en concentraciones medias o bajas en la muestra (hasta unos cientos de ppm de compuestos orgánicos). En el caso de que la concentración exceda el valor de 1 g/L, se puede proceder a la dilución de la muestra.
- Contaminantes no biodegradables: la fotocatalisis es una excelente alternativa
- Contaminantes peligrosos en mezclas de compuestos orgánicos complejos: cuando la mezcla del contaminante es bastante compleja, el uso de la fotocatalisis se convierte en la mejor elección gracias a su nula selectividad.
- Contaminantes cuyo tratamiento convencional es complicado: esta técnica es bastante eficiente cuando los métodos de tratamiento son

complejos o dependen de inversiones de operaciones costosas.

(Morrison S.R. 1997)

FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

La fotocatalisis homogénea es un proceso no selectivo y de gran significado medio ambiental que pertenece al grupo de las denominadas Tecnologías Avanzadas de oxidación, conjuntamente con otros procesos basados en la generación de radicales oxidantes. Se fundamenta en la absorción directa o indirecta de energía radiante (visible o UV) por un fotocatalizador heterogéneo que normalmente es semiconductor de banda ancha. Para activar la remoción de contaminantes, deben existir reacciones de destrucción sin que el catalizador sufra modificaciones a nivel químico, estas reacciones se dan en la región interfacial entre un sólido excitado y la solución. La excitación del semiconductor se puede presentar en dos diferentes formas:

- Por excitación directa del semiconductor, el cual absorbe los fotones usados en el proceso. (En esta investigación se estudia el primer caso ya que es el más general y de mayor aplicación en la fotocatalisis heterogénea).
- Por excitación inicial de moléculas adsorbidas en la superficie del catalizador, las que a su vez son capaces de inyectar electrones en el semiconductor.

Esta tecnología incluye gran variedad de reacciones (Oxidaciones suaves o totales, deshidrogenación, transferencia de hidrogeno, intercambio isotópico de oxígeno (con ^{18}O) e hidrogeno (con deuterio), depósito de metales, descontaminación de agua, remoción de contaminantes gaseosos, acción

bactericida. Esta técnica puede realizarse en diferentes fases (gaseosa, líquidas orgánicas puras o disoluciones acuosas). La única diferencia que se encuentra con la catálisis convencional es la forma de activación del catalizador, ya que la activación térmica es sustituida por la fotónica.

En la fotocatalisis heterogénea, los orbitales moleculares de los semiconductores poseen una estructura de banda. Las bandas más importantes y de especial interés en la fotocatalisis son la banda ocupada de valencia (VB: *valence band*) y la banda desocupada de conducción (CB: *conductance band*), las cuales se encuentran separadas una de otra por la “distancia energética entre bandas” (E_{bg} : *Band gap*). Cuando es iluminado el semiconductor con una fuente energética ($h\nu$) mayor que la distancia energética entre bandas (E_{gb}) un electrón promociona desde la banda de valencia a la banda de conducción, creando un hueco en la banda de valencia.

Los pares electrón-hueco que se han creado a través del proceso, aproximadamente tienen una vida media alrededor de nanosegundos (tiempo suficiente para que se desplacen a la superficie y reaccionen con especies absorbidas). Los pares electrón-hueco que no alcanzaron a separarse y posteriormente reaccionar con especies en superficie, se recombinan (puede tener lugar en la superficie y en el seno de la partícula) posteriormente, la energía se disipa.

Muchos materiales pueden actuar como fotocatalizadores, TiO_2 , ZnO , CdS , óxidos de hierro, WO_3 , ZnS , etcétera; se excitan absorbiendo parte de la radiación del espectro solar que incide sobre la superficie terrestre ($\lambda > 310nm$). Los semiconductores más usuales presentan bandas de valencia con

potencial oxidante (+1 a +3,5 V) y bandas de conducción moderadamente reductoras (+0,5 a -1,5 V). **(Morrison S.R. 1997)**

FOTOCATÁLISIS CON TiO₂

Los óxidos metálicos semiconductores de banda ancha son por hoy los foto catalizadores más usados e investigados hasta la actualidad, más exactamente el óxido de titanio (TiO₂), el cual es un óxido económico y estable a nivel químico y biológico. Funciona en un rango amplio de pH y es capaz de producir transiciones electrónicas por absorción de luz en el ultravioleta cercano (UV-A) ($\lambda < 380\text{nm}$).

El dióxido de titanio (TiO₂) se encuentra en tres formas cristalinas: anatasa, rutilo y broquita, siendo los dos primeros los más comunes y la anatasa la más efectiva en el tratamiento de aguas residuales. La distancia energética entre bandas (E_{gb}) para la anatasa es de 3.5 eV, posee una mayor superficie activa y mayor adsorción de sustancias debido a que su formación se ve cinéticamente favorecida a temperaturas **menos a 600°C**. La forma comercial del TiO₂ es producida por la compañía alemana *Alemana Degussa*, y recibe el nombre de P-25. **(Morrison S.R. 1997)**

PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE FOTOCATÁLISIS:

Existen algunos parámetros que inciden cualitativa y cuantitativamente en el proceso de fotocatalisis, a continuación se describen los de mayor relevancia que fueron analizados durante el proceso. **(Morrison S.R. 1997)**

A. Temperatura y Potencial de hidrógeno (pH)

Durante el desarrollo de las pruebas en el foto reactor se tuvo en cuenta el monitoreo en la variación de la temperatura de la muestra de agua a tratar con

el fin de corroborar el funcionamiento de la lámpara UV dentro del reactor anular durante su tiempo máximo de operación (1 hora con 10 min) determinando que éste variaba alrededor de 2 a 3 °C de la temperatura ambiente inicial.

Teóricamente, la variación de la temperatura no afecta significativamente la velocidad de las reacciones fotocatalíticas ya que este es un comportamiento típico de las reacciones iniciadas fotoquímicamente por adsorción de un fotón. Sin embargo cuando éste parámetro aumenta, puede disminuir la solubilidad del O₂ disuelto y así mismo, disminuir la disposición de este en la reacción; de igual forma, un aumento de temperatura mejora la cinética de la reacción al provocar un aumento en el choque de las partículas del sustrato y el semiconductor.

Respecto al parámetro de pH, este afecta las propiedades superficiales del catalizador como la forma química del compuesto a degradar y por lo general este proceso es más efectivo en condiciones ácidas. **(Morrison S.R. 1997)**

B. Catalizador (TiO₂)

El dióxido de titanio (TiO₂) también conocido como Anatasa (Una de las cinco formas de minerales del óxido conductor), posee una forma cristalina con las mejores propiedades fotocatalíticas y fotoconductoras y con una mayor capacidad de foto adsorción. Este es anfótero y posee un punto isoeléctrico variable, dependiendo del método de síntesis utilizado para la obtención del mismo. Entre las ventajas más relevantes de utilizar este catalizador como agente semiconductor y foto sensibilizador son:

- Activado con radiación menor a 387,5 nm

- Es económico
- Foto estable
- Altamente estable en medios no muy ácidos.

(Morrison S.R. 1997)

2.4. OZONO

El ozono (O_3) es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno gaseoso (O_2), formando moléculas de ozono (O_3).

A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor acre y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Es tóxico si se respira en grandes cantidades, puede provocar una irritación en los ojos y/o garganta, la cual suele pasar después de respirar aire fresco por algunos minutos. **(Wikipedia 2015)**

TABLA 2: PROPIEDADES FÍSICAS DEL OZONO (O_3)

Propiedades Físicas	
Apariencia	Azul pálido
Densidad	2.140 kg/m ³ ; 0,00214 g/cm ³
Masa molar	47,998 g/mol
Punto de fusión	80,7 K (-192 °C)
Punto de ebullición	161 K (-112 °C)
Viscosidad	N/A
Índice de refracción (n_p)	1,2226 (liquid)

Fuente: Hidrotec (2009)

TABLA 3: PROPIEDADES QUÍMICAS DEL OZONO (O₃):

Propiedades Químicas	
Solubilidad en agua	0,105 g/100 mL (0 °C)

Fuente: Hidrotec (2009)

TABLA 4: TERMOQUÍMICA DEL OZONO (O₃) :

Termoquímica	
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	142,3 kJ/mol

Fuente: Hidrotec (2009)

TABLA 5: RIESGOS DEL OZONO (O₃):

Riesgos	
Riesgos principales	Exposición mayor de 0,05 ppm
Ingestión	N/R
Inhalación	>0,05 ppm por 8 horas
Piel	No reacciona
Ojos	Irritación a más de 0,05 ppm
Valores en el SI y en condiciones estándar (25 °C y 1 atm).	

Fuente: Hidrotec (2009)

El ozono es el primer alótropo de un elemento químico que fue identificado por la ciencia. En la actualidad no se conoce quién fue su descubridor original, pero varios estudios apuntan a los químicos Charles Fabry y Henri Buisson.

El ozono se puede producir artificialmente mediante un generador de ozono. El ozono tiene uso industrial como precursor en la síntesis de algunos compuestos orgánicos, pero principalmente, como desinfectante depurador y purificador de aguas minerales. Su principal propiedad es que es un fuerte oxidante. También es conocido por el importante papel que desempeña en la atmósfera. A este nivel es necesario distinguir entre el ozono presente en la

estratósfera y el de la tropósfera. En ambos casos su formación y destrucción son fenómenos fotoquímicos.

Desinfección del agua

Las principales ventajas que aporta el ozono para su uso en aguas son:

- Elimina los olores y sabores del agua.
- No deja residuos.
- Compatible con otros tratamientos.
- No afecta al pH.
- No colorea el agua.

Una de las principales ventajas de su uso es la conversión del ozono en oxígeno, sin dejar ningún residuo químico perjudicial en el agua. **(Hidrotec 2009)**

2.5. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Lámpara fluorescente de luz ultravioleta. La radiación ultravioleta no es visible; sin embargo, muchas de las lámparas ultravioletas emiten marginalmente parte de su luz en la zona adyacente del espectro visible, con lo que se observan de un color violeta.

Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m). Su nombre proviene desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta. Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud.

El descubrimiento de la radiación ultravioleta está asociado a la experimentación del oscurecimiento de las sales de plata al ser expuestas a la luz solar. En 1801 el físico alemán Johann Wilhelm Ritter descubrió que los rayos invisibles situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible eran especialmente efectivos oscureciendo el papel impregnado con cloruro de plata, denominó a estos rayos "rayos desoxidantes" para enfatizar su reactividad química y para distinguirlos de los "rayos calóricos" (descubiertos por William Herschel) que se encontraban al otro lado del espectro visible. Poco después se adoptó el término "rayos químicos". Estos dos términos, "rayos calóricos" y "rayos químicos" permanecieron siendo bastante populares a lo largo del siglo XIX. Finalmente estos términos fueron dando paso a los más modernos de radiación infrarroja y ultravioleta respectivamente. **(Wikipedia 2016)**

Según su longitud de onda, se distinguen varios subtipos de rayos ultravioleta:

TABLA 6: SUBTIPOS DE RAYOS ULTRAVIOLETA

Nombre	Abreviación	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta A (onda larga)	UVA	400 – 350	3,10 – 3,94
Ultravioleta B (onda media)	UVB	315 – 280	3,94 – 4,43
Ultravioleta C (onda corta)	UVC	280 – 100	4,43 – 12,40
Ultravioleta cercano (near)	NUV	400 – 300	3,10 – 4,13
Ultravioleta medio (middle)	MUV	300 – 200	4,13 – 6,20
Ultravioleta de vacío	VUV	200 – 10	6,20 – 124
Ultravioleta extremo	EUV	121 - 10	10,25 – 124

Fuente: Wikipedia (2016)

Una de las aplicaciones de los rayos ultravioleta es como forma de esterilización, junto con los rayos infrarrojos (pueden eliminar toda clase de bacterias y virus sin dejar residuos, a diferencia de los productos químicos).

Está en estudio la esterilización UV de la leche como alternativa a la pasteurización. **(Wikipedia 2016)**

2.6. PERÓXIDO DE HIDROGENO

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), también conocido como agua oxigenada, dioxigen o dioxidano, es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que ésta. Es conocido por ser un poderoso oxidante. A temperatura ambiente es un líquido incoloro con olor penetrante e incluso desagradable y sabor amargo. Pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso se encuentran naturalmente en el aire. El peróxido de hidrógeno es muy inestable y se descompone lentamente en oxígeno y agua con liberación de gran cantidad de calor. Su velocidad de descomposición puede aumentar mucho en presencia de catalizadores. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce. **(SHU, H, Y.2006)**

El peróxido de hidrógeno se encuentra en bajas concentraciones (del 3 al 9 %) en muchos productos domésticos para usos medicinales y como blanqueador de vestimentas y el cabello. En la industria, el peróxido de hidrógeno se usa en concentraciones más altas para blanquear telas y pasta de papel, y al 90 % como componente de combustibles para cohetes y para fabricar espuma de caucho y sustancias químicas orgánicas. En otras áreas, como en la

investigación, se utiliza para medir la actividad de algunas enzimas, como la catalasa. (SHU, H, Y.2006).

TABLA 7. PROPIEDADES FÍSICAS DEL PERÓXIDO DE HIDROGENO (H₂O₂):

Propiedades Físicas	
Apariencia	Incoloro
Densidad	1400 kg/m ³ ; 1,4 g/cm ³
Masa molar	34,0147 g/mol
Punto de fusión	272,6 K (-1 °C)
Punto de ebullición	423,35 K (150 °C)
Estructura cristalina	n/d
Viscosidad	1,245 cP a 20 °C

Fuente: SHU, H, Y.(2006)

TABLA 8: PROPIEDADES QUÍMICAS DEL PERÓXIDO DE HIDROGENO (H₂O₂):

Propiedades Químicas	
Acidez	11,65 pK _a
Solubilidad en agua	Miscible
Producto de solubilidad	n/d
Momento dipolar	2,26 D

Fuente: SHU, H, Y.(2006)

TABLA 9: TERMOQUÍMICA DEL PERÓXIDO DE HIDROGENO (H₂O₂):

Termoquímica	
$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-136,11 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	-188 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	-200 kJ/mol

Fuente: SHU, H, Y.(2006)

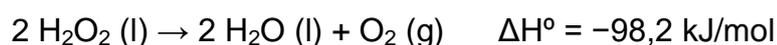
TABLA 10: RIESGOS DEL PERÓXIDO DE HIDROGENO (H₂O₂):

Riesgos	
Riesgos principales	¡Atención! las siguientes son indicaciones para el peróxido de hidrógeno puro y soluciones concentradas.
Ingestión	Serios daños, posiblemente fatal.
Inhalación	Irritación severa, corrosivo, Posiblemente fatal.
Piel	Corrosivo. Agente aclarante y desinfectante. Causa ardor casi inmediatamente.
Ojos	Altamente peligroso. Visión borrosa, quemaduras profundas graves

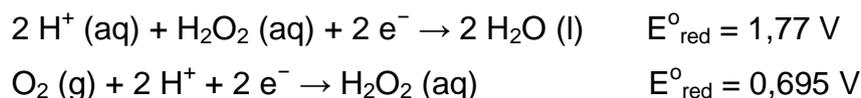
Fuente: SHU, H, Y.(2006)

El peróxido de hidrógeno puro (H_2O_2) es un líquido denso y claro, con una densidad de $1,47 \text{ g/cm}^3$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. El punto de fusión es de $-0,4 \text{ }^\circ\text{C}$, y su punto de ebullición normal es de $150 \text{ }^\circ\text{C}$. De manera similar a la del agua, el peróxido de hidrógeno presenta un eje de simetría C_2 (eje rotado a 180°), y además presenta tres conformaciones cis-planar (grupo de simetría C_{2v}), cis-no planar (grupo de simetría C_2) y trans-planar (grupo de simetría C_{2h}).

El peróxido de hidrógeno concentrado es una sustancia peligrosamente reactiva, debido a que su descomposición para formar agua y oxígeno es sumamente exotérmico. La siguiente reacción termoquímica demuestra ese hecho:



El peróxido de hidrógeno es capaz de actuar ya sea como agente oxidante o como reductor. Las ecuaciones que se muestran a continuación presentan las semi reacciones en medio ácido:



En solución básica, los potenciales correspondientes al electrodo estándar, son de $0,87 \text{ V}$ para la reducción del peróxido de hidrógeno y de $0,08 \text{ V}$ para su oxidación. (SHU, H, Y.2006)

2.7. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA

GENERALIDADES

Los procesos de oxidación avanzada comúnmente llamados POA son

aquellos tratamientos terciarios que están basados en la generación de especies fuertemente oxidantes, que tienen como objetivo principal la eliminación de compuestos solubles no biodegradables, presentes en las aguas residuales.

Dichos procesos usan oxidantes (químicos) para reducir los niveles DQO/DBO, y para separar los componentes orgánicos y los componentes inorgánicos oxidables.

El proceso de oxidación avanzada consiste en una oxidación química en condiciones suaves de presión y temperatura hasta la mineralización completa de contaminantes. El agente oxidante es una especie radical denominada hidroxilo (OH^\cdot) con una elevadísima capacidad oxidante y con tiempos de reacción muy cortos.

Debido a la altísima reactividad de estas especies es posible eliminar tanto compuestos orgánicos como inorgánicos logrando así una reducción de DQO, COT y toxicidad en las aguas residuales tratadas. Además la generación de radicales se realiza a partir de oxígeno, agua oxigenada y catalizadores soportados, por lo que los subproductos de reacción son únicamente agua y dióxido de carbono.

La tabla 11. Indica la capacidad de oxidación, medida a través del potencial de oxidación, de diferentes compuestos. Los de mayor potencia son los que intervienen en los POA. **(Lenntech B, V, 2013)**

TABLA 11: CAPACIDAD DE OXIDACIÓN, MEDIDA A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE OXIDACIÓN

ESPECIE	POTENCIAL DE OXIDACIÓN (Volts)
Flúor	3,03
Radical hidroxilo (OH)	2,8
Oxígeno atómico	2,4
Ozono	2,07
Peróxido de hidrogeno	1,78
Radical per hidroxilo	1,7
Permanganato	1,68
Acido hipo bromoso	1,59
Dióxido de cloro	1,57
Acido hipocloroso	1,49
Ácido hipoiodoso	1,45
Cloro	1,36
Bromo	1,09
Yodo	0,54

FUENTE: Lenntech B, V, (2013).

La versatilidad de los POAs se encuentra en el hecho de que ofrecen diferentes maneras de producir los radicales hidroxilos. Así, la generación de radicales hidroxilo se puede acelerar por la combinación de algunos agentes oxidantes como ozono (O_3), peróxido de hidrogeno (H_2O_2), radiación UV, sales de hierro [Fe (II) y Fe (III)] y catalizadores como dióxido de titanio (TiO_2).

Los POAs se pueden clasificar como procesos no fotoquímicos y procesos fotoquímicos en función de la participación de la luz en el proceso. **Lenntech B, V, (2013)**

Procesos no fotoquímicos

- Ozonización

- Ozonización con $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$
- Procesos Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) y relacionados
- Oxidación electroquímica
- Radiólisis y tratamiento con haces de electrones
- Plasma no térmico
- Oxidación en aguas sub y supercrítica

Procesos fotoquímicos

- Ultravioleta de vacío
- UV/ H_2O_2
- UV/ O_3
- UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$

Fotocatálisis solar

- Fotocatálisis homogénea. (Foto-Fenton)
- Mecanismo de fotocatalisis con TiO_2

Alguna de las ventajas de estas nuevas tecnologías frente a los métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales industriales son las siguientes:

- Los contaminantes se destruyen, no se concentran ni cambian de fase.
- Puede alcanzarse la mineralización total de los contaminantes orgánicos.
- Usualmente no generan lodos que requieren tratamiento y/o eliminación.
- Los reactivos utilizados como oxidantes son sustancias que se descomponen durante el proceso en productos inocuos.

- Son muy útiles para eliminar contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico. Mejoran la biodegradabilidad del agua residual, permitiendo acoplar un tratamiento biológico posterior.
- Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración.
- Generalmente mejoran las características organolépticas de las aguas tratadas.
- Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro. **(Lenntech B, V, 2013).**

2.8. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA NO FOTOQUÍMICOS

Los procesos de oxidación avanzada no fotoquímicos originan especies muy reactivas, principalmente el radical hidroxilo; a través de la transformación de especies químicas o mediante la utilización de distintas formas de energía, a excepción de la irradiación luminosa. **(Lenntech B, V, 2013).**

2.9. OZONIZACIÓN

La ozonización se define como “proceso de oxidación que implican la generación de radicales hidroxilo en cantidad suficiente para interaccionar con los compuestos orgánicos del medio”.

El método más ampliamente utilizado para la generación de ozono para el tratamiento de aguas son las descargas en corona, o también conocido como “descargas eléctricas silenciosas” consiste en pasar oxígeno en forma gaseosa a través de dos electrodos separados con un dieléctrico y un hueco de descargas. Se aplica un voltaje a los electrodos, causando que un electrón

fluya a través del hueco de descarga. Esos electrones suministran la energía para disociar las moléculas de oxígeno, produciéndose así la formación de ozono.

La técnica se basa, fundamentalmente, en lograr un tiempo de contacto adecuado del agua, con la cantidad adecuada de ozono. Concentraciones de entre 0,5 y 0,8 mg/L de ozono durante unos tres o cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectada. Tras el tratamiento, el ozono se descompone en oxígeno tras varios minutos no dejando ningún tipo de residual, por consiguiente, tampoco existirá ningún residual desinfectante que pudiera prevenir el crecimiento bacteriológico. En los casos en los que sea necesario asegurar que el agua de consumo ha sido recién tratada con ozono, el sistema de ozonización se realizará en un depósito con un caudal de recirculación, en donde mediante un inyector Venturi se añadirá la producción de ozono adecuada, esta cantidad de ozono y por tanto, la concentración de ozono residual en el depósito depende, en primer lugar, de las características de producción del equipo, y en segundo lugar, del tiempo de funcionamiento del mismo. Para sistemas más complejos de regulación y control puede instalarse una sonda de medición de ozono residual en el agua que actúe directamente sobre la producción del equipo para alcanzar el valor de consigna preestablecido como el ideal de concentración de ozono en el agua. **(CLEMENTE, J, P. 2006).**

2.10. OZONIZACIÓN CON H_2O_2

La ozonización se realiza en medio alcalina para aumentar la velocidad de descomposición del ozono, incrementando así la velocidad de generación

de radicales hidroxilo. La generación de radicales hidroxilo puede ser aumentada con la adición de peróxido de hidrogeno ($H_2 O_2$), ampliando la concentración de los mismos en el agua. Se logra una mejoría agregando agua oxigenada.

El uso de dos o más oxidantes combinados permite aprovechar los posibles efectos sinérgicos entre ellos, lo que produce una destrucción adicional de la carga orgánica. Sin embargo, como existe una gran dosis de empirismo en el uso de mezclas oxidantes, es difícil prevenir el rendimiento, que debe determinarse en ensayos de laboratorio. Entre las posibles mezclas de agentes oxidantes, la combinación de peróxido de hidrogeno y ozono es sin duda la más usada. El tratamiento da resultado efectivo para descomponer compuestos organoclorados como tricloroetileno, tetracloroetileno, etc. Por lo tanto, es excelente para el pos tratamiento del agua. **(Alonso, 2008)**.

2.11. TECNOLOGÍAS DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)

Este tipo de tecnologías involucran la generación y empleo de radicales libres como agentes oxidantes y se usan para lograr oxidaciones que no son llevadas a cabo por técnicas convencionales con ozono, cloro y otros reactivos oxidantes típicos. Se tratan de técnicas muy novedosas que pueden ayudar a la eliminación de compuestos orgánicos refractarios a otro tipo de tratamientos más habituales.

Como información complementaria la tabla 12 presenta una serie de radicales libres, que generados vía irradiación solar y de forma natural, suelen encontrarse habitualmente en las aguas.

Volviendo a las técnicas POA en realidad suelen hacer uso mayoritariamente del radical hidroxilo (OH^\cdot). Esta especie química presenta un alto poder oxidante que lo hace reaccionar con muchos sustratos a los que oxida prácticamente hasta mineralización total. Los procesos de oxidación avanzada suelen ser poco selectivos y capaces de actuar con alta eficiencia sin ayuda de condiciones más extremas de temperatura y/o presión, presentando además la ventaja de no generar subproductos problemáticos y/o contaminantes. (Marín, G, R. 2012).

TABLA 12. RADICALES LIBRES GENERADOS DE FORMA NATURAL EN LAS AGUAS RESIDUALES

Denominación Química	Fórmula
Ion radical superóxido	$\text{O}^{\cdot -}$
Radical hidroperoxilo	HO_2^\cdot
Radical Peroxilo	ROO^\cdot
Radical hidroxilo	HO^\cdot
Radical carbonato	$\text{CO}_3^{\cdot -}$
Radical bromuro	Br_2^\cdot
Peróxido de hidrogeno	H_2O_2
Electrón solvatado	E_{ag}^-

Fuente: Marín, G, R. (2012)

Existen dos tipos de tecnologías de oxidación avanzada: las que emplean ozono y las que no se basan en ozonización.

Técnicas que emplean ozono:

- Ozonización a pH alcalino (>8,00).
- Ozono y radiación UV.
- Ozono y agua oxigenada (H_2O_2).
- Ozono, agua oxigenada y radiación UV.
- Ozono y dióxido de titanio (TiO_2).

- Ozono, dióxido de titanio y agua oxigenada.
- Ozono y ultrasonidos.

Técnicas que NO emplean ozono:

- Agua oxigenada y radiación UV.
- Agua oxigenada, y sales de Fe (II) (*proceso Fenton*).
- Agua oxigenada, radiación UV y sales de Fe (II) (*proceso Foto-Fenton*).
- Ultrasonidos.
- Descargas corona de alta energía.
- Fotocatálisis UV y dióxido de titanio.
- Irradiación gamma.
- Oxidación catalítica.
- Oxidación con agua súper-crítica. **(Marín, G, R. 2012)**

2.12. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA

Estos tipos de procesos se pueden clasificar en procesos homogéneos y heterogéneos. Dentro de los procesos homogéneos se pueden llevar a cabo con aporte de energía o sin ella. **(Osorio, R, F. et al. 2010)**.

Los procesos homogéneos con aporte de energía se clasifican, en función de la procedencia de la energía en:

a) Energía procedente de radiación ultravioleta (UV):

- Ozonización y radiación ultravioleta (O_3/UV).
- Peróxido de hidrogeno y radiación ultravioleta (H_2O_2/UV).
- Ozono, peróxido de hidrogeno y radiación ultravioleta ($O_3/ H_2O_2/UV$).
- Foto-Fenton ($Fe^{2+}/ (H_2O_2/UV)$).

b) Energía procedente de ultrasonidos (US):

- Ozonización y ultrasonidos (O_3/US).
- Peróxido de hidrogeno y ultrasonidos (H_2O_2/US).

c) Electroquímica:

- Oxidación electroquímica.
- Oxidación anódica.
- Electro-Fenton.

Los procesos homogéneos sin aporte de energía son los siguientes:

- Ozonización en medio alcalina (O_3/OH^-).
- Ozonización con peróxido de hidrogeno (O_3/ H_2O_2) y ($O_3/ H_2O_2/OH^-$).
- Peróxido de hidrogeno y catalizador ($H_2O_2/TiO_2/UV$).

Por otro lado, los procesos heterogéneos pueden ser:

- Ozonización catalítica ($O_3/Cat.$).
- Ozonización fotocatalítica ($O_3/TiO_2/UV$).
- Fotocatálisis heterogénea ($H_2O_2/TiO_2/UV$). (Osorio, R, F. et al. 2010).

2.13. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA HOMOGÉNEOS CON APORTE DE ENERGÍA MEDIANTE RADIACIÓN UV.

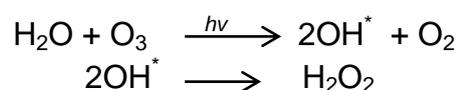
Este tipo de procesos se suelen emplear para la degradación de compuestos que absorben en la zona del espectro correspondiente al ultravioleta (UV).

Los costes de los procesos que conllevan un tratamiento con radiación UV dependen en gran medida de las propiedades de absorción de los compuestos que van a ser eliminados. Los compuestos que absorben en la longitud de onda de la radiación UV son excelentes candidatos para la foto degradación, tal

es el caso del penta-cloro-fenol y de la N-nitroso-dimetilamina (NDMA), (Vogelpohl, 2007).

OZONO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (O₃/UV).

Los procesos de oxidación avanzada en los que intervienen ozono y radiación ultravioleta comienzan con la fotosíntesis del ozono, que da lugar a la formación de radicales hidroxilo según muestra la siguiente reacción:

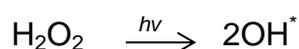


Generalmente, el medio acuoso saturado de ozono es irradiado con luz UV ($h\nu$) con una longitud de onda de 253,7 nm. A esa longitud de onda el coeficiente de extensión del ozono es de 3.300 1/Mcm, valor mucho mayor que el del peróxido de hidrogeno (18,6 1/Mcm).

Por cada mol de hidróxido formado se consumen 1,5 moles de ozono, 0,5 moles (fotones) de UV y 0,5 moles de H₂O₂ (que se forman *in situ*). (Vogelpohl, 2007).

A) PERÓXIDO DE HIDROGENO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (H₂O₂/UV).

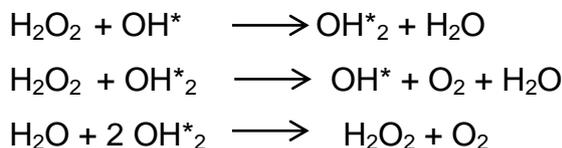
Este proceso de oxidación avanzada conlleva la formación de radicales hidroxilo por la fotólisis del H₂O₂ y las correspondientes reacciones de propagación. El mecanismo más aceptado para la fotólisis es el que se muestra:



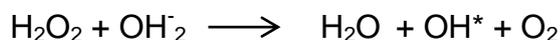
La velocidad de esta fotólisis no es dependiente del pH y aumenta las condiciones más alcalinas, probablemente debido a que la longitud de onda,

253,7 nm al anión peróxido HO_2^- , tiene un valor mayor del coeficiente de absorción (240 frente a 18,6 1/Mcm). **(Vogelpohl, 2007)**.

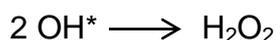
Las siguientes reacciones de propagación son:



También hay que tener en cuenta que el peróxido de hidrogeno se descompone según la reacción:



También se produce una recombinación de radicales según:



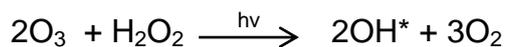
Cuando el agua que se desea tratar tiene una gran absorbancia, puede competir por la radiación con el peróxido de hidrogeno, lo que representa el mayor inconveniente de este método.

Un sistema con $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ puede mineralizar completamente cualquier compuesto orgánico hasta CO_2 y aguas. Pero en la mayor parte de las aplicaciones reales, no es necesario un proceso tan drástico, ya que los productos de la oxidación no representan un problema desde el punto de vista de su toxicidad y son fácilmente degradados **(Vogelpohl, 2007)**.

B) OZONO, PERÓXIDO DE HIDROGENO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$.

El hecho de añadir peróxido de hidrogeno al emplear un proceso con O_3/UV acelera la descomposición del ozono y aumenta la velocidad de generación de radicales OH^* , pero el coste es más elevado. Este proceso es el resultado de la combinación de dos sistemas binarios, O_3/UV y $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, C, de

manera que la reacción resultante es:

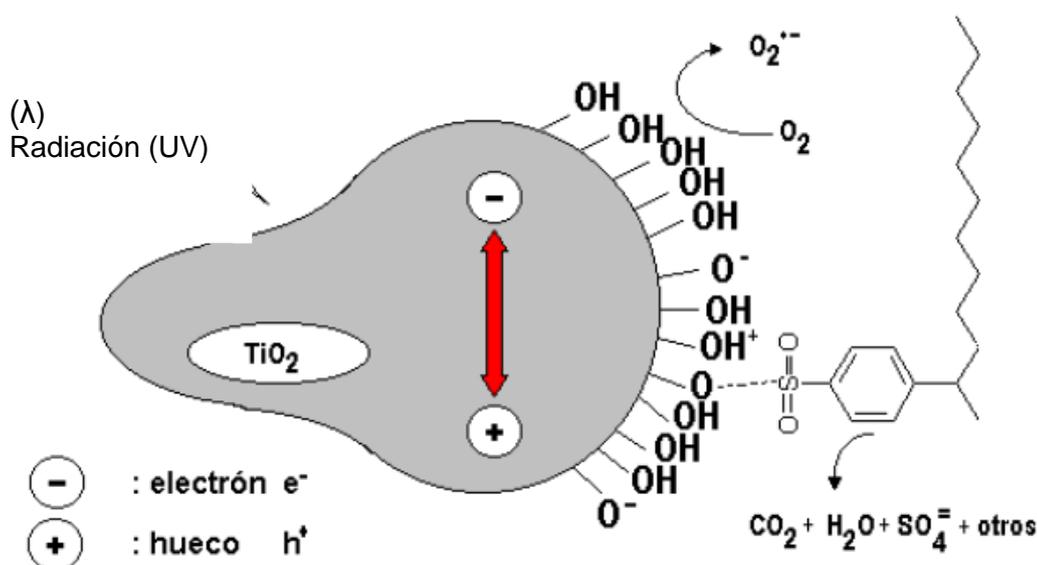


Cuando el proceso va dirigido a la descontaminación de aguas con productos con débil absorción de radiación UV, es más efectivo, añadir el peróxido de hidrogeno externamente con un flujo reducido de UV. Este método permite así una reducción considerable del COT (carbono orgánico total). En general, en los tres procesos descritos anteriormente, la velocidad de oxidación llega a ser muy alta. **(Vogelpohl, 2007)**

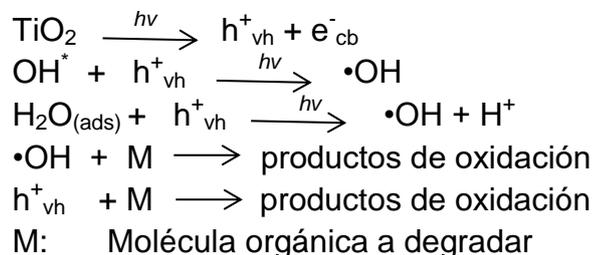
C) FOTOCATÁLISIS TiO₂/UV

En este sistema de tratamiento, la luz UV produce sobre la superficie del catalizador (TiO₂) un salto electrónico desde una banda de valencia a una banda de conducción, generando de esta forma un par formado por un hueco positivo (h⁺) y un electrón (e⁻), para que este sistema sea eficiente, el tiempo de vida del par formado debe ser suficiente para iniciar el proceso de oxidación de la molécula orgánica. **(Vogelpohl, 2007).**

FIGURA 2: DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE UN CONTAMINANTE ORGÁNICO.



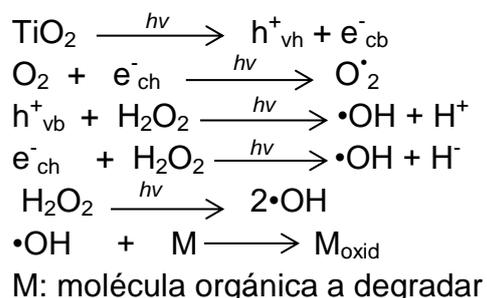
Como se puede observar en la figura, los huecos positivos (h^+) permiten la formación de los radicales OH^\cdot , a partir de las moléculas de agua, y también la absorción de la molécula orgánica iniciando su oxidación.



Uno de los aspectos más importantes de la fotocatalisis ambiental es la disponibilidad del material TiO_2 , catalizador ideal. **(Vogelpohl, 2007).**

D) FOTOCATÁLISIS $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$

La influencia del peróxido sobre el proceso fotocatalítico es la contribución de una mayor cantidad de radicales $\bullet\text{OH}$ que facilitan una mayor oxidación de la molécula orgánica. La interacción de la luz ultravioleta y del peróxido con los huecos h^+ y con los electrones generados por la fotocatalisis, son las fuentes de generación de radicales OH^\cdot ; que oxidan a la molécula orgánica (30,31,32). **(Vogelpohl, 2007)**



E) LONGITUD DE ONDA E INTENSIDAD DE RADIACIÓN

Para generar el semiconductor (TiO_2) pares electrón-hueco, se debe tener en cuenta que éste absorba longitudes de onda inferiores a 400 nm los cuales

correspondan al espectro ultravioleta. Entre menor sea la longitud de onda, la distancia de penetración de los fotones en la partícula de TiO_2 será más corta, ya que estos son absorbidos por las moléculas del semiconductor con más fuerza, generando los pares electrón–hueco más cerca de la superficie de la partícula y evitando cada vez más que se posibilite un proceso de recombinación y así mismo, aprovechar en mayor cantidad la energía absorbida. (Vogelpohl, 2007).

F) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.

El parámetro de la DQO se tuvo en cuenta con el fin de realizar un seguimiento a la oxidación energética de la materia orgánica e inorgánica presente en la muestra de agua. La medición de este parámetro se llevó a cabo por medio del método de Determinación Fotométrica de la concentración de Cromo (III), tras oxidación con dicromato potásico/ácido sulfúrico/Sulfato de plata.

Solo aguas con un contenido de DQO menor o igual a 5 g/L son aptas para ser tratadas por medios de procesos de oxidación fotocatalítica ya que concentraciones mayores a esta requieren cantidades excesivas de oxidante, siendo este un parámetro poco favorable en el ámbito práctico y económico. (Vogelpohl, 2007)

2.14. MARCO CONCEPTUAL

PEROXIDO DE HIDROGENO (H_2O_2): Es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, pero que en general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que ésta. Es conocido por ser un poderoso oxidante.

DIOXIDO DE TITANIO: Compuesto químico cuya fórmula es TiO_2 . Naturalmente presente en ciertos minerales, se encuentra en forma esférica y es relativamente seguro, barato y abundante.

SULFATO DE HIERRO (II): Es un compuesto químico iónico de fórmula ($FeSO_4$). También llamado sulfato ferroso, caparrosa verde, el sulfato de hierro (II) se encuentra casi siempre en forma de sal heptahidratada ($FeSO_4 \cdot 7 H_2O$), de color azul-verdoso.

OZONIFICACION: Se trata de un tratamiento usado ampliamente en el tratamiento de aguas, ya sean potables o residuales. Es capaz de eliminar de los medios compuestos orgánicos e inorgánicos, reduciéndose el TOC (carbono orgánico total), olor, color, sabor y turbidez de las aguas, además de sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos

RADIACION UV: la radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material, Si la radiación transporta energía suficiente como para provocar ionización en el medio que atraviesa.

DQO: es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno (UNA - PUNO), así mismo las pruebas experimentales de evaluación se llevaron a cabo en el laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, bajo las condiciones ambientales a una presión atmosférica de 486 mm Hg, a una altitud de 3828 m.s.n.m. y a una temperatura promedio de 12°C.

3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS:

3.2.1. Equipos y materiales:

- Equipo para proceso de oxidación avanzada.
- Espectrofotómetro *Thermo Scientific GENESYS 10S*
- Recipientes de 20 litros (valdes)
- Termómetro
- Balanza analítica marca Mettler AJ100

- pH-metro marca Hanna
- Espátula
- Matraz erlenmeyer de 125 mL
- Matraz aforado de 50 mL y 25 mL
- Vasos de precipitado
- Probeta de 50 mL
- Pipeta graduada de 5 y 10 mL
- Fiola de 250 y 500 mL

3.2.2. Reactivos e Insumos

- Agua residual de la industria textil artesanal S.F. de Asís.
- Tinte azul Blue (R-19)
- Peróxido de hidrogeno 30%
- Dióxido de Titanio
- Sulfato de hierro II
- Agua destilada

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.3.1. TOMA MUESTRA

La muestra del agua residual de textilería se tomó por muestreo compuesto cada 4 horas para un volumen de 20 litros a la salida de la fosa de teñido antes de desembocar en la fosa central y ser vertido al alcantarillado. La muestra de agua residual procede de la empresa textil artesanal San Francisco de Asís, de la ciudad de Juliaca, Región de Puno. Siendo su característica principal líquido de color azul.

3.3.2. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTANDAR

Procedimiento

- Para la preparación de la solución estándar se adquirió 20 litros de agua destilada para cada proceso.
- En una balanza analítica se pesó 0.030 g/L de tinte textil Azul Blue (R-19) haciendo un total de 0.6 g. de tinte para un volumen de 20 litros.
- Se vierte el colorante pesado a un recipiente de 20 litros de agua destilada para su solubilidad y homogenización.
- Se procede a solubilizar y homogenizar del colorante en el agua destilada agitándolo por un periodo de 10 min aproximadamente.
- Se obtiene la solución estándar que se preparara para cada proceso.

3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA

Con el fin de determinar en qué longitud de onda (λ) el colorante Azul Blue (R-19) presenta mayor absorbancia para lo cual se preparó una muestra estándar de 30 mg/L de concentración.

Procedimientos

- Se pesó 0.030 g de tinte de teñido Azul Blue (R-19) para un volumen de 1 litro.
- El tinte fue diluido en una fiola de 1L agitándolo por un periodo de 10 minutos aproximadamente.
- Una vez homogenizada la mezcla se dio lectura en un espectrofotómetro a diferentes longitudes de onda (λ) en nanómetros (nm).

- Mediante el programa “escaneo de longitud de onda” se ubicó el pico máximo correspondiente a 77.2 % de transmitancia se registra 425 nm de longitud de onda (λ).

3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL BLUE R-19

Procedimiento

- Se preparó diferentes concentraciones del colorante reactivo ya preparado para determinar la absorbancia a 425 nm de longitud de onda (λ).
- Luego de tener una mezcla homogénea se distribuyeron en fiolas de 100 ml en volúmenes de 3ml, 10 ml, 20 ml, 30 ml, 50 ml y 70 ml.
- Se procedió al rotulado de las fiolas con sus respectivos volúmenes y al enrase a 100 ml con agua destilada.
- Dichas muestras se dieron lectura en el espectrofotómetro para determinar su absorbancia.

3.3.5. PRUEBAS CON AGENTE OXIDANTE H_2O_2 .

Se realizaron las pruebas utilizando 20 L de una solución preparada del contaminante Azul Blue (R-19), con una concentración de 0,030 g/L del tinte de teñido, una vez iniciada el tratamiento con TiO_2 o TiO_2/Fe^{2+} se adicionó 6 mg de H_2O_2 (30% v/v), en la solución estándar presente en el tanque reactor (I) para mejorar la eficiencia en la degradación. Se tomaron muestras cada 10 minutos haciendo un tiempo total de 70 minutos, para evaluar el nivel de degradación, en presencia de estos iones.

Para los diferentes procesos en el que interviene H_2O_2 se considerará la misma cantidad.

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE H_2O_2 PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN

De los antecedentes de Castañeda, Jiménez, A.C. (2011) Indica que 1g DQO utiliza 0.0625 mol de H_2O_2 , para 1 m³ de agua residual de la industria del petróleo.

$$1g \text{ DQO} = 0.0625 \text{ mol } H_2O_2 / 1m^3$$

Tomando como base de cálculo para las pruebas respectivas de laboratorio se tiene:

- El agua residual muestra de teñido con tinte azul (R-19), tiene un contenido de 103mg/L de DQO. (laboratorio de control de calidad FIQ – UNA – Puno 2016).
- El agua residual con contenido de teñido de tinte azul, fue tratada con H_2O_2 a un volumen de 20 litros de muestra.

Por lo tanto se tiene la cantidad requerida de H_2O_2 para el tratamiento.

$$1g \text{ DQO} = 0.0625 \text{ mol } H_2O_2$$

$$1g \text{ DQO} = 0.0625 \times 34 = 2.125 \text{ g de } H_2O_2$$

Si:

$$1g \text{ DQO} \text{ ————— } 2.125g \text{ } H_2O_2$$

$$0.103g \text{ DQO} \text{ ————— } X$$

$$X = 0.21887g \text{ } H_2O_2 / 1000L$$

$$X = 0.21887 \times 10^{-3}g \text{ } H_2O_2/L$$

Para el volumen de 20 L de agua residual muestra se tiene:

$$Y = (0.21887 \times 10^{-3} \times 20) \text{g H}_2\text{O}_2$$

$$Y = 0.004376 \text{g de H}_2\text{O}_2$$

Por lo tanto se requiere $0.004376 \text{g} = 4.376 \text{mg}$ de H_2O_2 para 20 litros de agua residual muestra.

- De las pruebas realizadas en laboratorio para la remoción del tinte de color azul de teñido, se trataron con pesos de H_2O_2 :

$$P_1 = 4 \text{ mg H}_2\text{O}_2$$

$$P_2 = 4.5 \text{ mg H}_2\text{O}_2$$

$$P_3 = 5 \text{ mg H}_2\text{O}_2$$

$$P_4 = 5.5 \text{ mg H}_2\text{O}_2$$

$$P_5 = 6.0 \text{ mg H}_2\text{O}_2$$

De estos tratamientos, el mejor resultado se obtuvo con el peso de 6mg de H_2O_2 para una volumen de 20 litros de agua residual muestra.

3.3.6. FUENTES DE RADIACIÓN

En el tratamiento fotocatalítico se ha empleado una fuente de radiación, lámparas de 400 W de potencia media de Mercurio, de 254 nm.

Para conocer la importancia de estas lámparas y su intensidad es conveniente definir el uso. Si se desea trabajar con un sistema fotocatalítico utilizando TiO_2 que tiene una barrera energética de 3.2 V se necesita lámparas de longitudes de onda menor a 290 nm por lo que se trabajó con lámparas de 254 nm sin mayores problemas.

3.3.7. SISTEMA DE TRATAMIENTO.

El sistema de tratamiento consiste en:

Cargar el agua residual al tanque reactor (I) en el que se homogeniza el caudal, esta es succionada por una electrobomba de $\frac{1}{2}$ Hp para la circulación de caudal al reactor UV, ozonificador (O_3) y al tanque reactor (II) en serie. Los tanques reactores son de material acrílico transparente de capacidad de 50 litros en la que la solución es aireada y homogenizada con los reactivos de (POA) según su elección el caudal de recirculación de la solución se realiza a una velocidad de flujo de 10 L/min.

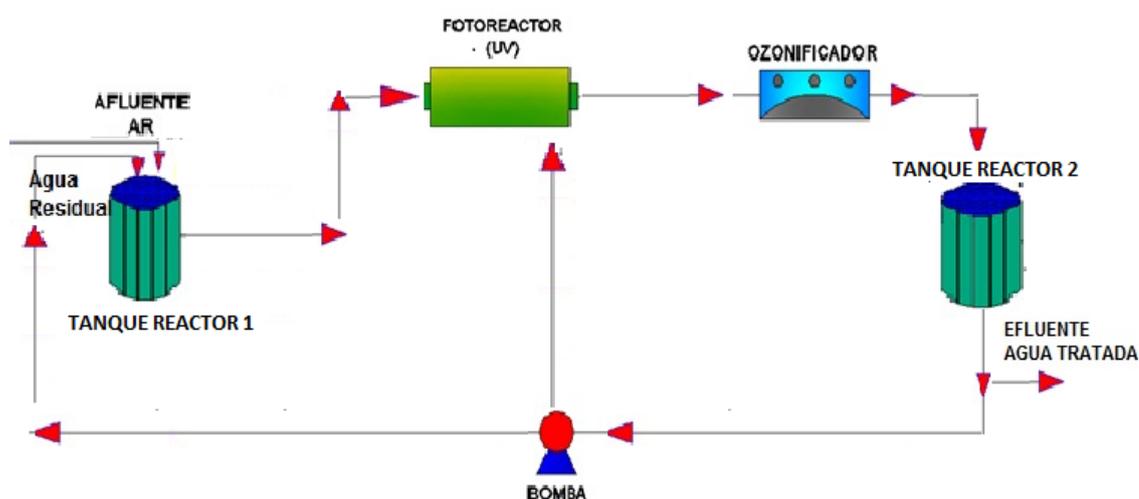


FIGURA 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA) EN EL LABORATORIO.

(*) Proceso (POA):	(TiO_2/H_2O_2) , $(TiO_2/H_2O_2/UV)$, $(TiO_2/H_2O_2/UV/O_3)$, (TiO_2/Fe^{2+}) , $(TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2)$, $(TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV)$ y $(TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV/O_3)$.
Para los tiempos:	10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 minutos.
pH:	7.5
Temperatura:	ambiental $12^\circ C$

PROCESOS (POA) Y PROCEDIMIENTOS

1° PROCESO EXPERIMENTAL ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$)

Procedimientos

- Se pesó dióxido de titanio (TiO_2) una cantidad de 0.10 g/L que se presenta como un sólido de color blanco.
- El TiO_2 ya pesado se disolvió en un vaso precipitado en una cantidad de 50 ml de agua destilada.
- Se agitó la solución por un tiempo de 15 min aproximadamente para su dilución.
- Este es vertido al tanque reactor (I) la cual contiene la solución estándar de color Azul Blue (R-19).
- También se adicionó el Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y se inició la homogenización y recirculación.
- Tomándose muestras cada 10 min.

2° PROCESO EXPERIMENTAL ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$)

Procedimientos

- Se realiza el mismo procedimiento del 1° proceso experimental ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) para la adición del TiO_2 y del H_2O_2 .
- Se acondicionó el equipo abriendo las llaves de paso para conducir el fluido al tanque reactor (II) cerrando la llave de retorno al tanque reactor (I).
- Abrir la llave de ingreso al fotoreactor e iniciar la recircular por el tanque reactor (II) y el Fotoreactor.
- Se toma la muestra cada 10 min.

3° PROCESO EXPERIMENTAL ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$)

- Se realizó el mismo procedimiento que en el 2° proceso experimental ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$).
- Se acondicionó el equipo abriendo la llave de paso para la circulación de caudal del tanque reactor (II) al fotoreactor y al ozonificador, conduciendo nuevamente el caudal al tanque reactor (II) iniciará nuevamente la recirculación.
- Tomar muestra cada 10 minutos.

4° PROCESO EXPERIMENTAL ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}$)

- Se pesó Dióxido de titanio (TiO_2) una cantidad de 0.10 g/L que se presenta como un sólido de color blanco.
- Se pesó también el Fe^{2+} a partir de FeSO_4 una cantidad de 0.217 g/L.
- En ambos se procedió a la dilución en un vaso precipitado con 50 ml de agua destilada.
- Se agita continuamente por un periodo de 15 min. Aproximadamente.
- Una vez disuelto ambas soluciones se adicionan a la solución estándar en el tanque reactor (I).
- Se prende el equipo y se inicia la recirculación solo en el tanque reactor (I).
- Tomar muestras cada 10 minutos.

5° PROCESO EXPERIMENTAL ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$)

Procedimiento

- Se realizaron los mismos procedimientos que en el 4° proceso experimental ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}$).

- Con la adición del peróxido de hidrogeno (H_2O_2).
- Se inició la homogenización y recirculación en el tanque reactor (I).
- Toma de muestras cada 10 minutos.

6° PROCESO EXPERIMENTAL ($TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV$)

Procedimiento

- Se realizaron los mismos procedimientos que en el 5° Proceso experimental ($TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2$).
- Pasar el caudal al tanque reactor (II) y cerrar la llave de retorno al tanque reactor (I).
- Se acondicionó el equipo abriéndolas llaves para la circulación de caudal al Fotoreactor y al tanque reactor (II) e iniciando nuevamente la circulación
- Toma de muestras cada 10 minutos.

7° PROCESO EXPERIMENTAL ($TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV/O_3$).

Procedimientos

- Se realizaron los mismos procedimientos que en el 6° proceso experimental ($TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV$).
- Se acondicionó el equipo abriendo las llaves para la circulación de caudal al fotoreactor y al ozonificador y al tanque reactor (II). realizando una recirculación en serie.
- Toma de muestras cada 10 minutos.

3.3.8. PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)

Para las pruebas experimentales para la remoción por decoloración de tintes

de teñido, en soluciones estándar y en aguas residuales de la industria textil, se utilizaron procesos de oxidación avanzada (POA), desarrolladas a nivel de Laboratorio, realizando las siguientes pruebas:

- Evaluación de la materia orgánica genérica recalcitrante dimensionada por valores de DQO en muestras de:
 - DQO en Soluciones estándar de tintes de teñido, en muestras sin tratamiento y con tratamiento de POA de: $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$.
- Evaluación por espectrofotometría de la remoción de decoloración de tintes de teñido aplicando Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ con control de pH y temperatura en:
 - Solución estándar preparada en laboratorio del tinte textil Azul Blue (R-19).
 - Muestras de aguas residuales de la industria textil para decoloración por el Método de Oxidación Avanzada (POA).
- La concentración de la solución peróxido de hidrogeno utilizado fue de 30 volúmenes de concentración, para el (TiO_2) fue de 0,10 g/L, para el (Fe^{2+}) a partir $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ fue de 0,217 g/L y la intensidad del UV fue a una longitud de onda de 254 nm, para los diferentes Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+})$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ con control de pH y temperatura.

PRUEBAS DE DEGRADACIÓN.

En esta etapa se midió el avance de la degradación por la disminución en la absorbancia del color iónico formado por el azul Blue (R-19) extraído de la empresa textil artesanal San Francisco de Asís (ciudad de Juliaca) y pruebas con soluciones estándar preparadas en laboratorios los que se evaluaron en un espectrofotómetro UV-Visible, en todos los casos se siguió el método 5540C del Standard Methods (1998). **(Greenberg, A,E et al 1998).**

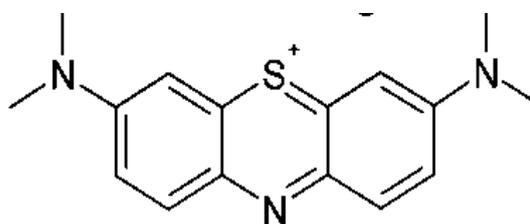


FIGURA 4: PAR IÓNICO AZUL BLUE (R-19)

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE.

Para el cálculo de la longitud de onda (λ) y la absorbancia, se utilizó un espectrofotómetro marca Thermo- Scientific GENESYS 10S.



FIGURA 5 : ESPECTROFOTÓMETRO THERMO- SCIENTIFIC GENESYS 10S

CALIBRACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO Y BARRIDO DEL ESPECTRO DE ABSORCIÓN

Procedimiento

- Encender el espectrofotómetro.
- Esperar 15 minutos.
- Calibración: oprimir la tecla MODE, hasta que la luz roja se encuentre en A (absorbancia).
- Seleccionar la longitud de onda girando la perilla.
- Introducir la celda con el blanco (con un volumen por arriba de la mitad; nunca llena) en la porta-celda, oprime la tecla Λ (0A/100%T) y esperar a que se ponga en cero la absorbancia.
- Tomar la lectura de absorbancia de la solución propuesta a una longitud de onda baja (λ nm). utilizar como blanco agua destilada.
- Repetir el procedimiento desde el punto 4 dando incrementos regulares a la longitud de onda. Registrar los datos en una tabla

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN.

4.1.1. DQO

Este parámetro se tomó para evaluar en forma indirecta la cantidad del compuesto orgánico capaz de consumir el oxígeno disuelto, que se encuentra presente, antes y después del tratamiento. Para la medición de este parámetro se siguió el método de reflujo abierto 5220B del Standard Methods (1998)(39).

4.1.2. pH

Este parámetro se tomó para ver la variación de la acidez cuando la muestra es degradada. Se utilizó un pH-metro marca Hanna modelo Checker.

4.1.3. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA

Con el fin de determinar en qué longitud de onda (λ) el colorante Azul Blue (R-19) presenta mayor absorbancia, se preparó una muestra estándar de 30 mg/L de concentración, el cual se dio lectura a diferentes longitudes de onda (λ) en nanómetros (nm) proceso que se experimentó para llevar a cabo el barrido espectral, en el espectrofotómetro, el cual generó diversos picos y valles a

diferentes longitudes de onda (rango de 380 a 450 nm) por medio del programa “Escaneo de longitud de Onda” coincidiendo que el pico máximo de 77.2 % de Transmitancia se registra a 425 nm de longitud de onda (λ) tal como se muestra en la tabla 13.

TABLA 13: DETERMINACIÓN DE LONGITUD DE ONDA PARA TINTE AZUL BLUE (R-19)

λ	%T
380	70.0
385	71.8
390	72.7
395	73.6
400	74.4
405	75.2
410	76.0
415	76.6
420	77.0
425	77.2
427	76.8
429	76.3
430	75.9
435	74.4
440	72.8
445	71.8
450	70.1

Fuente: Elaboración propia por barrido espectral

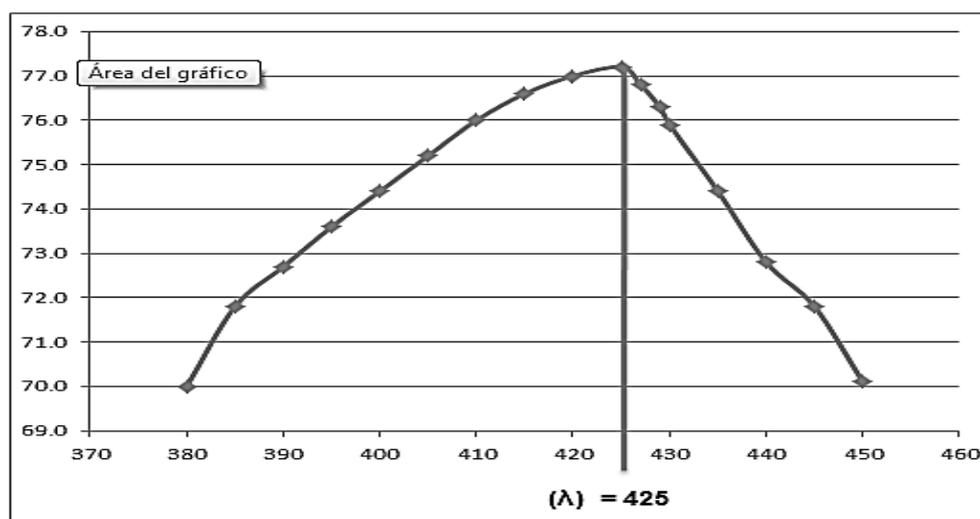


FIGURA 6: DETERMINACIÓN DE LONGITUD DE ONDA TINTE AZUL BLUE (R-19)

4.1.4. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL BLUE R-19

Para determinar la curva de calibración del tinte Azul Blue (R-19) se prepararon diferentes concentraciones del colorante reactivo para determinar su absorbancia a una longitud de onda de 425 nm. Tal como se muestra en la tabla 14 y en la figura 6.

TABLA 14: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL TINTE AZUL BLUE (R-19)

Concentración mg/L	Absorbancia A
3	0.0022
10	0.0137
20	0.0273
30	0.0419
50	0.0675
70	0.0985

Fuente: Elaboración propia en base a las pruebas en laboratorio

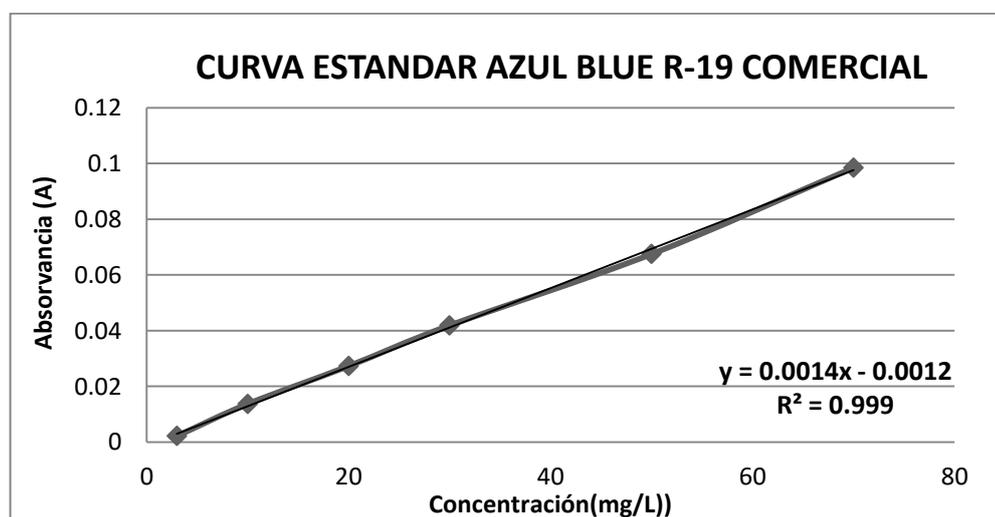


FIGURA 7: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL TINTE AZUL BLUE (R-19)

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$.

Al agregar H_2O_2 al proceso de oxidación, el potencial fotocatalítico es potencializado ya que el H_2O_2 acelera la mineralización en el proceso de oxidación de la materia orgánica (tinte de teñido) y se incrementa la degradación del color por la generación de radicales (OH^\cdot).

El óxido metálico TiO_2 se comporta como catalizador por ser un semiconductor de banda ancha en procesos de fotocatalisis, debido a que se excitan y absorben parte de la radiación UV capaces de producir transiciones electrónicas en un rango de pH 4 – 8 (**Gálvez, J. 2004**).

En la tabla 15 y figura 7. Se observa la eficiencia del % de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado con dicho tinte, utilizando los oxidantes $\text{TiO}_2 / \text{H}_2\text{O}_2$; con respecto al tiempo del proceso de tratamiento de remoción del color. En este proceso la degradación del color no es muy variable llegando a un valor máximo del 76.7 % de degradación del color a un tiempo de 50 minutos y a un pH de 5.2 tal como se reporta en la tabla 27; después de este tiempo, se observa que disminuye la degradación para mayores tiempos del proceso de remoción del color utilizando los oxidantes $\text{TiO}_2 / \text{H}_2\text{O}_2$.

Cálculo de porcentaje de degradación de color:

$$Y = 0.0014(x) - 0.0012$$

$$X = \frac{Y + 0.0012}{0.0014}$$

Donde y=absorbancia, x=concentración

$$X = \frac{0.019 + 0.0012}{0.0014}$$

$$X = 14.43$$

Cálculo de porcentaje de degradación de color

$$\% R = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) * 100$$

$$\% R = \left(\frac{30 - 14.43}{30} \right) * 100$$

$$\% R = 51.9$$

TABLA 15: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2$

N°	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	ABSORVANCIA (A)	DEGRADACIÓN COLOR (%)
1	0	0.0395	0.00
2	10	0.019	51.9
3	20	0.0186	52.7
4	30	0.0155	60.31
5	40	0.0132	66.58
6	50	0.0110	76.7
7	60	0.0115	70.88
8	70	0.0115	70.88

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de Tecnología de aguas.

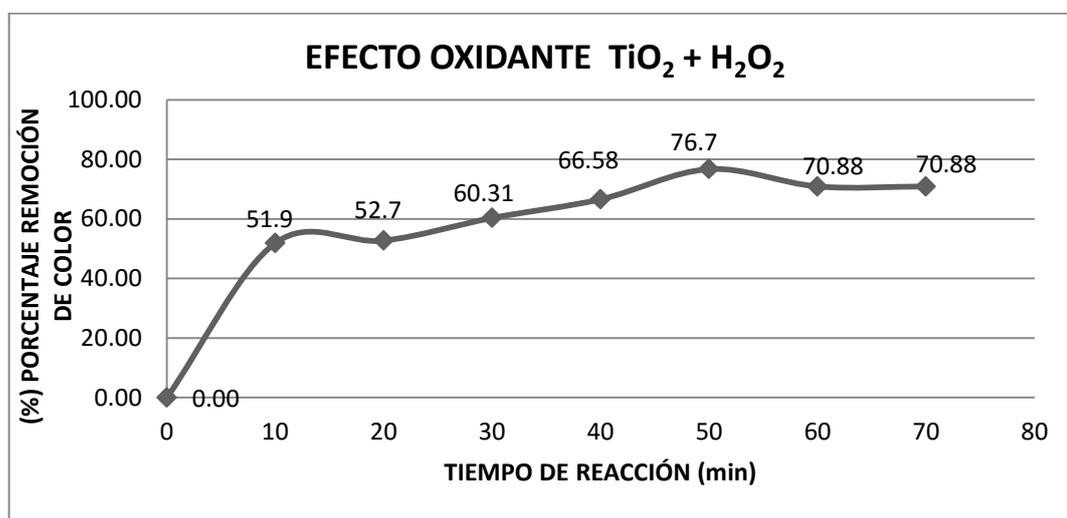


FIGURA 8: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2$

REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2/H_2O_2/UV$

La degradación de color del tinte de teñido azul blue (R-19) por proceso de oxidación con el $TiO_2 / H_2O_2 / UV$, en el que el TiO_2 actúa como catalizador y en dicho proceso se generan los pares de hueco-electrón, con excitación energética del espectro UV, formándose los huecos con sitios aptos para la reacción de oxidación con la materia orgánica de tinte de teñido azul blue.

El espectro ultra violeta (UV) se puede dividir en cuatro bandas UV-A (315 a 400 nm); UV-B (280 a 315 nm); UV-A (315 a 400 nm); UV-C (200 a 280 nm) y UV- vacío (40 a 200 nm). Las más utilizadas con fines ambientales son la UV-A y UV-C. (Sobotka, J. 1993).

En la tabla 16 y figura 8. Se observa la eficiencia del % de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado con dicho tinte, utilizando los oxidantes $TiO_2/H_2O_2/UV$; con respecto al tiempo del proceso de tratamiento de remoción del color. En este proceso se observa que a partir del tiempo de proceso de 50 minutos se estabiliza la degradación del color con un valor del 82,78 % de degradación del color a un pH de 6.6.ver tabla 27.

TABLA 16: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV$

N°	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	ABSORVANCIA (A)	DEGRADACIÓN COLOR (%)
1	0	0.0395	0.00
2	10	0.0146	63.04
3	20	0.0097	75.44
4	30	0.0920	76.71
5	40	0.0079	80
6	50	0.0068	82.78
7	60	0.0068	82.78
8	70	0.0068	82.78

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de Tecnología de aguas

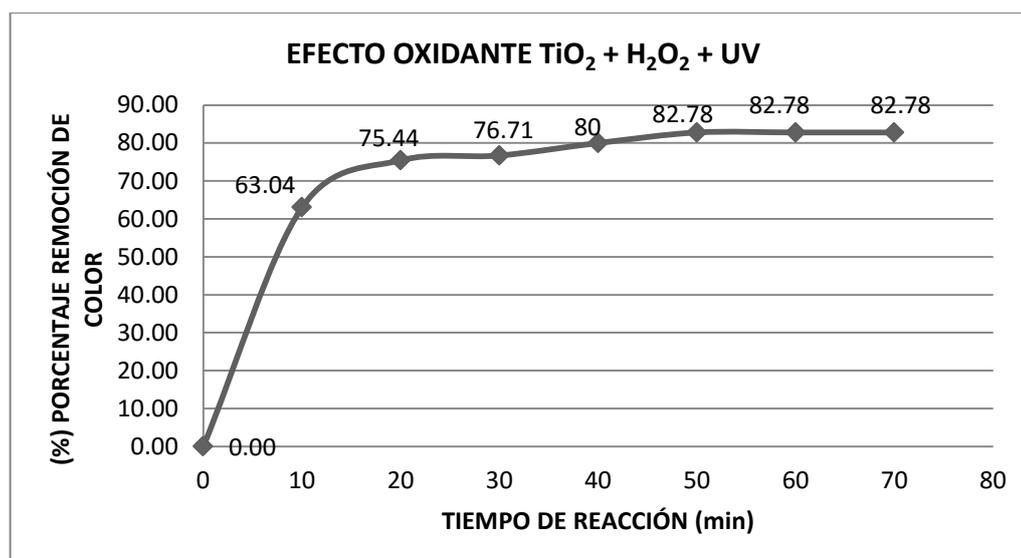


FIGURA 9: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV$

REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2/H_2O_2/UV/O_3$.

La oxidación de la materia orgánica para la degradación de color del tinte de teñido azul blue (R-19) por proceso de oxidación con el $TiO_2/H_2O_2/UV/O_3$, se realiza en medio básico para aumentar la velocidad de descomposición del ozono y de esta manera incrementar la generación de los radicales hidroxilo, el que a su vez sigue su incremento por reacción con el H_2O_2 .

En la tabla 17 y figura 9. Se observa la eficiencia del % de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado con dicho tinte, utilizando los oxidantes $TiO_2/H_2O_2/UV/O_3$; con respecto al tiempo del proceso de tratamiento de remoción del color. En este proceso se observa que a partir del tiempo de proceso de 60 minutos se estabiliza la degradación del color con un valor del 89,11 % de degradación del color a un pH de 7.7, cuya evaluación se reporta en la tabla 27.

TABLA 17: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV + O_3$

N°	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	ABSORVANCIA (A)	DEGRADACIÓN COLOR (%)
1	0	0.0395	0.00
2	10	0.0363	8.10
3	20	0.0085	78.48
4	30	0.0059	85.06
5	40	0.0050	85.06
6	50	0.0045	88.61
7	60	0.0043	89.11
8	70	0.0043	89.11

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de Tecnología de aguas

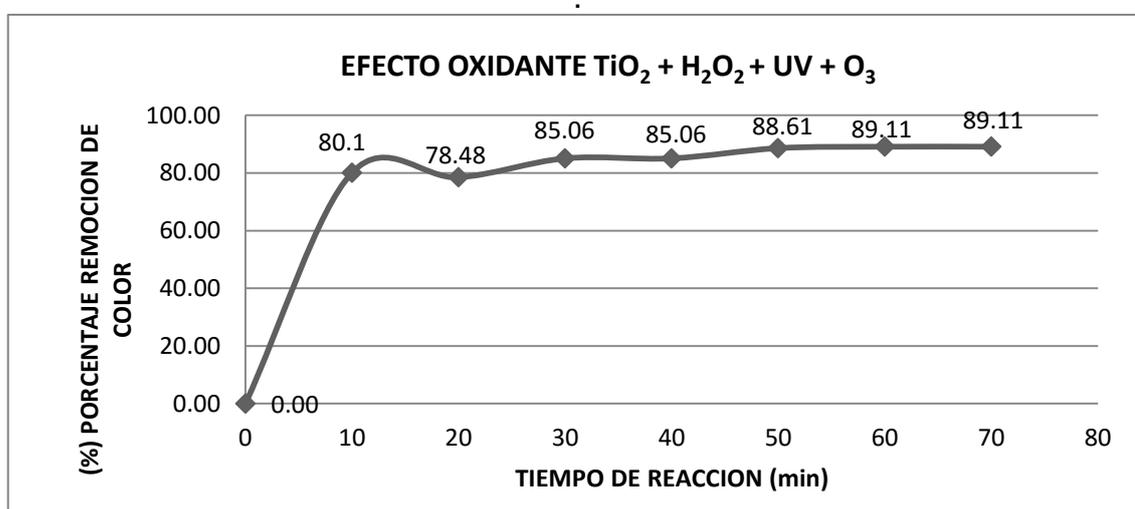
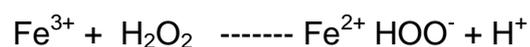


FIGURA 10: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + H_2O_2 + UV + O_3$

REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2/Fe/H_2O_2$.

La adición del oxidante fierro (Fe^{2+}) a partir de $FeSO_4$ frente a los demás oxidantes previamente experimentado se fundamenta a que el hierro actúa favoreciendo la descomposición del peróxido de hidrógeno lo que favorece la formación extra de radicales $OH\cdot$, que mejora la degradación del tinte colorante (Tolls, J. et al 2000).



En la tabla 18 y figura 10. Se observa la eficiencia del % de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado con dicho tinte, utilizando los oxidantes $\text{TiO}_2/\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2$; con respecto al tiempo del proceso de tratamiento de remoción del color. En este proceso se observa que a partir del tiempo de proceso de 10 minutos se tiene un resultado de alta degradación del color y al tiempo de 30 minutos se logra una degradación del color del 93.16 % y posteriormente se estabiliza la degradación del color con dicho valor del 93.16, a un pH de 6.7.ver tabla 27.

**TABLA 18: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES
 $\text{TiO}_2 + \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}_2$**

N°	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	ABSORVANCIA (A)	DEGRADACIÓN COLOR (%)
1	0	0.0395	0.00
2	10	0.0031	92.15
3	20	0.0029	92.65
4	30	0.0027	93.16
5	40	0.0027	93.16
6	50	0.0027	93.16
7	60	0.0027	93.16
8	70	0.0027	93.16

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de Tecnología de aguas.

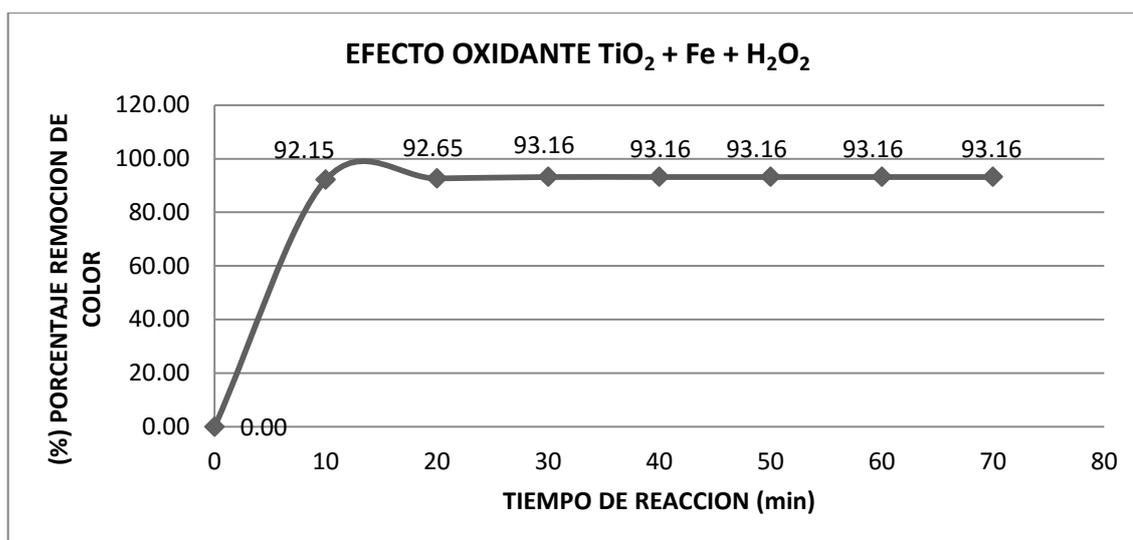


FIGURA 11: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2$

REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2/Fe/H_2O_2/UV$

En la tabla 19 y figura 11. Se observa la eficiencia del % de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado con dicho tinte, utilizando los oxidantes $TiO_2/Fe/H_2O_2/UV$; con respecto al tiempo del proceso de tratamiento de remoción del color. En este proceso se observa que la degradación del color es rápido llegando al 84.56% en el tiempo 20 minutos y a partir de este tiempo el proceso trata de estabilizarse con degradación del 92.91% a los 70 minutos a un pH de 6.8.ver tabla 27 proceso que continua en la degradación del color en forma gradual y lenta no logrando un estabilización específica.

TABLA 19: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2 + UV$

N°	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	ABSORVANCIA (A)	DEGRADACIÓN COLOR (%)
1	0	0.0395	0.00
2	10	0.0061	84.56
3	20	0.0044	88.86
4	30	0.0039	90.13
5	40	0.0035	91.14
6	50	0.0030	92.40
7	60	0.0030	92.40
8	70	0.0028	92.91

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de Tecnología de aguas

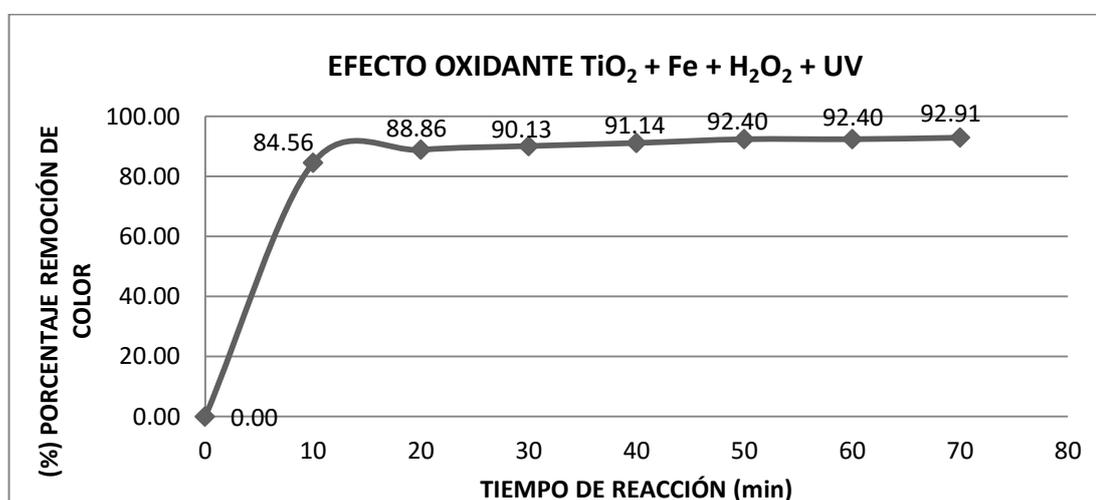


FIGURA 12: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2 + Fe + H_2O_2 + UV$

REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $TiO_2/Fe/H_2O_2/UV/O_3$

Se observa que la oxidación de la materia orgánica para la degradación de color del tinte de teñido azul blue (R-19) por proceso de oxidación con el $TiO_2/Fe/H_2O_2/UV/O_3$, se realiza en medio básico pH 5.7 ya que la degradación del color es en forma gradual posiblemente con aumento de la velocidad de descomposición del ozono y de esta manera incrementar la generación de los radicales hidroxilo, el que a su vez sigue su incremento por reacción con el Fe y el H_2O_2 .

En la tabla 20 y figura 12. Se observa la eficiencia del % de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado con dicho tinte, utilizando los oxidantes $\text{TiO}_2/\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$; cuyo tiempo del proceso de tratamiento de remoción del color es gradual a partir de los 20 minutos del 71.13% de degradación de color. En este proceso se observa que a partir del tiempo de proceso de 60 minutos, el proceso de degradación se estabiliza en la degradación del color con un valor del 95,44 % a un pH de 7.8, cuya evaluación se reporta en la tabla 27.

TABLA 20: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $\text{TiO}_2 + \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV} + \text{O}_3$

N°	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	ABSORVANCIA (A)	DEGRADACIÓN COLOR (%)
1	0	0.0395	0.00
2	10	0.0114	71.13
3	20	0.0066	83.29
4	30	0.0061	84.56
5	40	0.0035	91.13
6	50	0.0026	93.42
7	60	0.0018	95.44
8	70	0.0018	95.44

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de Tecnología de aguas

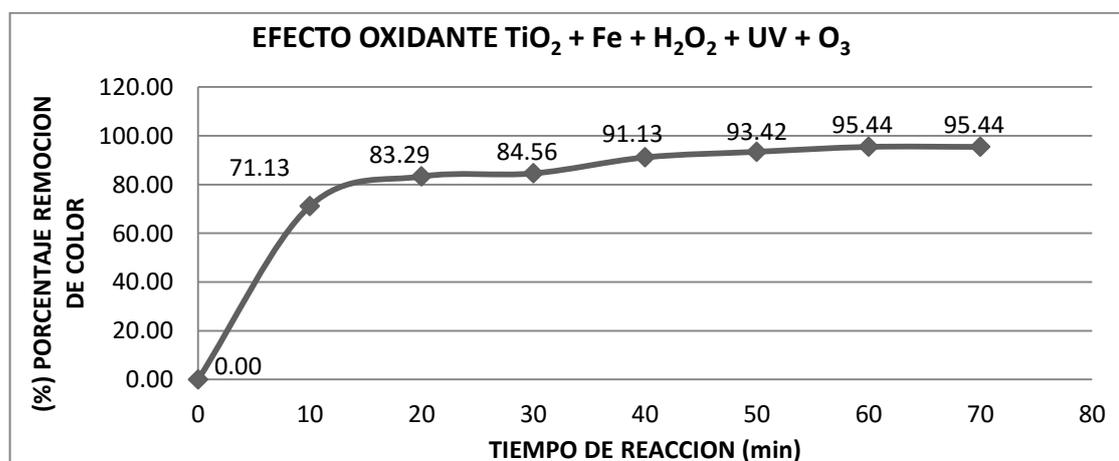


FIGURA 13: REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES $\text{TiO}_2 + \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV} + \text{O}_3$

TABLA 21: VARIACIÓN DEL pH EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.

N °	MUESTRA (*)	TRATAMIENTO POR OXIDANTES (POA)	pH INICIAL	pH FINAL	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	TEMPERATURA (°C)
0	Solución Estándar.		5.9	5.2.	70	12
1	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂	5.8	5.2	70	12
2	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	5.6	6.6	70	12
3	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	5.9	7.7	70	12
4	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂	5.7	6.7	70	12
5	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	5.8	6.8	70	12
6	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	5.7	7.8	70	12
7	Muestra (**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	5.8	7.8	70	12

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

La tabla 21, muestra las variaciones de pH de los diferentes procesos de remoción de color de tintes de teñido en el tratamiento por proceso de oxidación avanzada pudiendo observar en la mayoría un leve incremento del pH final en relación al pH inicial a excepción del proceso de tratamiento TiO₂/H₂O₂ en el que hubo una disminución de pH de 5.8 a 5.2.

Cabe resaltar que el proceso de tratamiento mayor TiO₂/Fe/H₂O₂/UV/O₃ tubo un mayor valor de pH llegando a 7.8

TABLA 22: VARIACIÓN DEL DQO EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.

N°	MUESTRA (*)	TRATAMIENTO POR OXIDANTES (POA)	DQO INICIAL (mg/L)	DQO FINAL (mg/L)	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	TEMPERATURA (°C)
0	Solución Estándar.		60.0	60.0	70	12
1	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂	56.0	38.0	70	12
2	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	56.0	14.6	70	12
3	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.0	15.8	70	12
4	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂	57.0	15.2	70	12
5	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	58.0	14.1	70	12
6	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.0	16.2	70	12
7	Muestra (**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	103.0	30.1	70	12

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

TABLA 23: VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.

N°	MUESTRA (*)	TRATAMIENTO POR OXIDANTES (POA)	% DE REMOCIÓN DEL DQO	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	TEMPERATURA (°C)
0	Solución Estándar.		00.00	70	12
1	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂	32.14	70	12
2	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	73.93	70	12
3	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	72.76	70	12
4	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂	73.33	70	12
5	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	75.69	70	12
6	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	72.07	70	12
7	Muestra (**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	70.77	70	12

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

TABLA 24: REMOCIÓN DE LA DQO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO POR OXIDANTES DEL POA EN SOLUCIONES ESTANDAR Y AGUA RESIDUAL DEL TINTE DE TEÑIDO AZUL BLUE R- 19

N°	MUESTRA (*)	TRATAMIENTO POR (POA)	DQO INICIAL (mg/L)	DQO FINAL (mg/L)	REMOCION DQO (%)	pH
0	Solución Estándar		60.0	60.0	0.00	5.2.
1	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂	56.0	38.0	32.14	5.2
2	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	56.0	14.6	73.93	6.6
3	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.0	15.8	72.76	7.7
4	Solución Estándar	TiO ₂ / Fe/H ₂ O ₂ .	57.0	15.2	73.33	6.7
5	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	58.0	14.1	75.69	6.8
6	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.0	16.2	72.07	7.8
7	Muestra A.R.(**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	103.0	30.1	70.78	7.8

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

La tabla 24, muestra el resumen de información de la tabla 22 y la tabla 23. En el que se muestra los resultados de la remoción del de la DQO, por el proceso de oxidación avanzada (POA), que tiene dependencia del parámetro pH de la solución, que en condiciones de pH básico por los oxidantes TiO₂/Fe/H₂O₂/UV/O₃ predomina la oxidación debido al radical OH⁻, y si fuera el medio de la solución de pH ácido la oxidación se debe a una oxidación directa por moléculas de O₂ (Teixeira, C, P. 2002) ; de los resultados se tiene que la mayor remoción de la DQO es del 75.69 %, por el proceso generado por los oxidantes TiO₂/Fe/H₂O₂/UV en medio básico a un pH = 6.8

TABLA 25: VARIACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE COLOR DEL TINTE DE TEÑIDO EN EL TRATAMIENTO POR POA.

N°	MUESTRA (*)	TRATAMIENTO POR OXIDANTES (POA)	N ₂ INICIAL (mg/L)	N ₂ FINAL (mg/L)	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	TEMPERATURA (°C)
0	Solución Estándar.		16.80	16.80	70	12
1	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂	15.80	12.30	70	12
2	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	14.6	10.84	70	12
3	Solución Estándar.	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	15.9	10.03	70	12
4	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂	16.2	6.50	70	12
5	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	15.6	5.17	70	12
6	Solución Estándar.	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	16.2	3.12	70	12
7	Muestra (**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.3	26.20	70	12

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

TABLA 26: REMOCIÓN DEL NITRÓGENO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO POR OXIDANTES DEL POA EN SOLUCIONES ESTANDAR Y AGUA RESIDUAL DEL TINTE DE TEÑIDO AZUL BLUE R- 19

N°	MUESTRA (*)	TRATAMIENTO POR (POA)	N ₂ INICIAL (mg/L)	N ₂ FINAL (mg/L)	REMOCION (N ₂) (%)	pH
0	Solución Estándar		16.80	16.80	0.00	5.2.
1	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂	15.80	12.30	22.15	5.2
2	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	14.60	10.84	25.75	6.6
3	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	15.90	10.03	35.22	7.7
4	Solución Estándar	TiO ₂ / Fe/H ₂ O ₂ .	16.20	6.50	59.87	6.7
5	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	15.60	5.17	66.86	6.8
6	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	16.2	3.12	80.74	7.8
7	Muestra de A.R.(**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.30	26.20	55.06	7.8

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

En la tabla 26 se muestra los resultados del % de remoción del nitrógeno (N_2), obtenidos a partir de la tabla 25 el cual muestra N_2 inicial y N_2 final, por el proceso de oxidación avanzada (POA), parámetro que tiene dependencia del pH de la solución, que en medio de pH básico producido por los oxidantes $TiO_2/Fe/H_2O_2/UV/O_3$ predomina la oxidación debido al radical OH^\cdot , y si fuera el medio de la solución de pH ácido la oxidación se debe a una oxidación directa por moléculas de O_2 (Teixeira, C, P. 2002) ; de los resultados se tiene que la mayor remoción del nitrógeno (N_2), es del 80.74 %, generado por el proceso de los oxidantes $TiO_2/Fe/H_2O_2/UV/O_3$ en medio básico a un pH = 7.8

TABLA 27: COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA REMOCIÓN DE COLOR DE TINTE DE TEÑIDO POR OXIDANTES POA

N°	MUESTRA	OXIDANTES POA	REMOCIÓN DE COLOR (%)	TIEMPO DE REMOCIÓN (min)	pH
1	Solución Estándar	TiO_2/H_2O_2	76.70	50	5.2
2	Solución Estándar	$TiO_2/H_2O_2/UV$	82.78	50	6.6
3	Solución Estándar	$TiO_2/H_2O_2/UV/O_3$	89.11	60	7.7
4	Solución Estándar	$TiO_2/ Fe/H_2O_2$.	93.16	30	6.7
5	Solución Estándar	$TiO_2/Fe/H_2O_2/UV$	92.91	70	6.8
6	Solución Estándar	$TiO_2/Fe/H_2O_2/UV/O_3$	95.44	60	7.8
7	Muestra de A.R.(**)	$TiO_2/Fe/H_2O_2/UV/O_3$	89.06	60	7.8

(*) Solución estándar de 36 mg/L del tinte de teñido Azul Blue R-19.

(**) Muestra de agua residual de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).

En la tabla 27, se muestra que los oxidantes (POA) $\text{TiO}_2/\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$ es el que tiene mejor % de eficiencia de remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en solución estándar preparado en laboratorio, con un rendimiento del 95.44 %, cuyo proceso fue aplicado para la remoción de color del tinte de teñido azul blue (R-19) en la muestra de Agua Residual de tintorería procedente de la empresa TEXTIL ARTESANAL S. F. DE ASIS – JULIACA – PUNO (marzo -2016).– Juliaca – Puno (**), obteniéndose una remoción de color del 89.06%.

CONCLUSIONES

- En el Procesos de Oxidación Avanzada (POA), La mayor degradación de la materia orgánica genérica recalcitrante y la remoción (rendimiento) por decoloración de tintes de teñido, en aguas residuales de la industria textil, se obtuvo con el proceso de oxidación del $\text{TiO}_2/\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$ para experimentos en soluciones estándar en tinte textil Azul Blue (R-19) y para la muestra del agua residual de la industria textil.
- Los rendimientos (remoción) de la degradación de materia orgánica genérica recalcitrante en soluciones estándar de tinte textil Azul Blue (R-19) y en la muestra de agua residual de la industria textil, cuantificado por la Demanda Química de Oxígeno (DQO), aplicando procesos de oxidación avanzada (POA) fueron de: 32.14 % con el $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$ a pH 5.2, 73.93 % con el $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ a pH 6.6, 72.76 % con el $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.7, 73.33 % con el $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$ a pH 6.7, 75.68 % con el $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ a pH 6.8 y el 72.07 % con el $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.8 y para la muestra de agua residual de la industria textil es del 70.77 % de rendimiento utilizando el POA de $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.8; con control a una temperatura 12 °C
- Los rendimientos (remoción) de la degradación de materia orgánica genérica recalcitrante en soluciones estándar de tinte textil Azul Blue (R-19) y en la muestra de agua residual de la industria textil, aplicando los procesos de oxidación avanzada (POA) fueron de: 76.70 % con el $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$ a pH 5.2, 82.77 % con el $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ a pH 6.6, 89.11 % con el $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.7, 93.16 % con el $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$ a pH

6.7, 92.91 % con el $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ a pH 6.8 y el 95.44 % con el $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.8 y para la muestra de agua residual de la industria textil es del 89.06 % de rendimiento utilizando el POA de $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.8; con control a una temperatura 12 °C

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar por el Proceso de oxidación avanzada (POA) con $\text{TiO}_2/\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$ para el tinte textil Azul Blue (R-19) por que demostró una mayor degradación de la materia orgánica genérica recalcitrante y la remoción por decoloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil.
- Se recomienda trabajar con peróxido de hidrogeno adquirido de laboratorio puesto que los productos comerciales no mostraran el mismo rendimiento.
- El uso del equipo de procesos de oxidación avanzada (POA) es exclusivamente para aguas residuales de industria textil mas no aguas residuales de otros tipos.
- Utilizar siempre implementos de protección al manipular los reactivos en especial al manipular el peróxido de hidrogeno debido a su % de concentración, puede causar irritación severa a la piel, visión borrosa hasta la pérdida total de la vista su inhalación causa mareos vómitos e incluso puede ser fatal.
- Al culminar las pruebas en el equipo de Proceso de Oxidación Avanzada siempre se debe purgar la bomba para que no se oxide debido a los reactivos oxidantes.
- Se recomienda a las industrias textiles que una vez tratada el agua residual, se considere el reciclaje del mismo para reutilizarlo en el proceso de tintorería u otros y así aportar a la conservación de este recurso tan valioso.

BIBLIOGRAFÍA

ALMECIJA, M.C., HONTORIA, E., MUÑO, M.M., OSORIO, F., POYATOS, J.M. & TORRES, J.C. (2010). Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: State of the Art. *Water Air Soil Pollution* 205, 187-204

BLANCO JURADO, (2009). Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria del petróleo.

CHEN, W. WEI, K. (2007). Electrochemical treatment of Ammonia in Wastewater by RuO_2 - IrO_2 - TiO_2/Ti electrodes. *J.AppL.Electrochem.*2007(b).37:1137 – 1144.

CHURA, I, Y. (2014). Tratamiento y Manejo de Efluentes de Aguas Residuales del Industria Textil Para la Remoción de Tensoactivos Por Coagulación y Floculación. Perú, Puno, UNA-Puno. Facultad de Ingeniería Química. Tesis Universitaria

CLEMENTE, J, P. (2006). Ampliación de procesos de Oxidación Avanzada (Fotocatalisis solar) para tratamiento y reutilización de afluentes textiles, España, Valencia, Univ. Politecnica de Valencia.

FUSHIJAMA Y HONDA (1999). Peroxido de Hidrogeno-características-articulos/usos-y-aplicaciones-del-agua-oxigenada

GLAZE et al. 1987). Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Removal of Pesticides from Aqueous Media

GUTARRA, A. LIZAMA, C. MANSILLA, H.D. (2001). Tratamiento de Residuos Líquidos de la industria de celulosa y textil. Argentina, La Plata Editorial CYTED.

J GARCÍA OSORIO – (2013) Guía didáctica para la selección preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales.

KROGER, M. y FELS, G. (2007). Combined biological – chemical Procedure For The Mineralization of TNT. *Biodegradation*. 18: 413 – 425.

LAU, T. y GRAHAM, N. (2007). Degradation of The endocrine disruptor Carbofuran by UV, O_3 and O_3/UV . *Water Science and technology*. 55 – 12 : 275 – 280.

LENNTECHBV.(2013). Water treatment solutions Lenntech. <http://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm>

MARIN, G, R. (2012). Procesos Físicos Químicos En Depuración de Aguas. España. Editorial Días De Santos.

Morrison S.R. Electrochemistry at semiconductor and oxidized metal electrodes (1997) Editorial Plenum Press. Nueva York

MURUGANANDHAM, M. CHEM, S. (2007). Mineralization of, N – Methyl – 2 – Purolidone by advanced oxidation process. Separation and Purification Technology. 55:360 – 367 .

OSORIO, R,F. TORRES, R,J. (2010). Tratamiento De Aguas Para Eliminación De Microorganismos y Agentes Contaminantes.España.Editorial Dias De Santos.

OYAMA, T. (2004). Fotocalisis heterogenea con TiO_2 para degradar Detergentes y Blanqueadores de aguas Residuales. Perú. Ica. UNJLG. Tesis de Grado Universitario.

RAMALHO, R, S. (1996). Tratamiento de Aguas residuales. Barcelona. Editorial Revente.

RIPOLL, A, G. (2008). Aumento de Biodegradabilidad y Eliminacion de Plaguicidas en Efluentes Acuicos - Metodo de Oxidacion Avanzada. España, Valencia. Universidad Tecnica de Valencia.

SHU, H, Y. y SHANG, M, C. (2005). Pre – ozonation coupled with UV/ H_2O_2 process For the decolorization and mineralization of cotton dyeing effluent and synthesized C.I. Direct Black 22 WasterWater. Journal of hazardous Materials. 121:127 – 133.

SHU, H, Y.(2006). Degradation of dyehouse effluent containing C.I.Direct Blue 199 by processes of ozonation, UV/ H_2O_2 . Journal of Hazardous Materials. 133: 92 – 98.

SOBOTKA, J. (1993). The Efficency of Water Treatment and Desinfections by meamns of Ultraviolet Radiation. Water Ciencie and Technology.vol.27.1993.pp.343.346

T RODRIGUEZ - 2013. Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante

TEIXEIRA,C,P (2002), Estudio Comparativo de Tipos Diferentes de Procesos de Oxidacion Avanzados. Tesis Doctorados Facultad Ingenieria Civil, Unicamp, Campinas S.P. 2002 pp7-33.

TOLLS,J. HALLER,M.SIENEN,W (2008). Environmental Science and Technology 34,304-310-2010.

VOGELPOHL, A. (2007). Aplicaciones of AOPS in Waster Water Treatment. Water Science and technology 55 – 12: 207 – 211.

YONAR, T. y AZBAR, N. (2005). Decolorisation of Textile effluent using homogeneous Photo chemical oxidation processes. Coloration Technology. 121: 258 – 264.

WEB GRAFIA

ALONSO, J, A.(2008)

<http://www.madrimasd.org/blogs/rentabares/2008/01/16/82477>.

GALVEZ, J. RODRIGUEZ, S. ESTRADA, CL.LEAL,T.(2004) Purificación de Agua por Fotocatálisis Heterogénea. Estado del arte. En Línea
<http://www.psa.es/webeng/solwater/files/cytedoc/08/cpo3.pdf>

HIDROTEC (2009) <http://www.hidrotec.com/hidrotec/tratamiento-de-agua-potable-con-ozono>.

LENNTECH, BY. (2013) <http://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm>

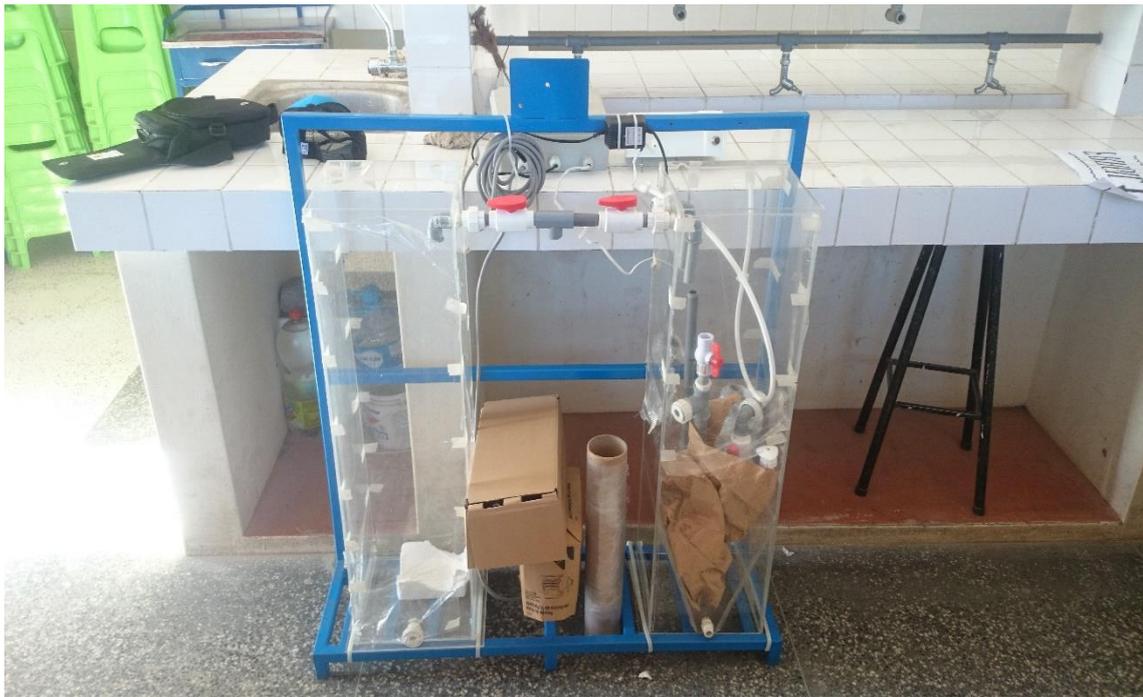
WIKIPEDIA (2015) <http://es.wikipedia.org/wiki/ozono#referencias>.

ROBINSON (2013). Radiación ultravioleta. <http://www.tratamiento-radiacionultravioleta.com/trabajos99/tratamiento-aguas-residuales-procesos-oxidacion-avanzada/tratamiento-aguas-residuales-procesos-oxidacion-avanzada.shtml>

ANEXOS

**ANEXO 1:
PANEL FOTOGRAFICO**

Foto 1: Recepción del equipo Proceso de Oxidación Avanzada (POA)



**Foto 2: Reconocimiento del manejo y correcto montaje de los accesorios
(UV, Ozono)**



Foto3: Montaje del equipo y accesorios.



Foto4: Equipo de procesos de oxidación avanzada (POA) completo.



Foto 5: Solución patrón de agua residual para la determinación de longitud de onda.



Foto 6: Soluciones preparadas en laboratorio para la curva de calibración.



Foto 7: Espectrofotómetro marca Thermo Scientific GENESYS 10S



Foto 8: Reactivo utilizado Dióxido de Titanio.

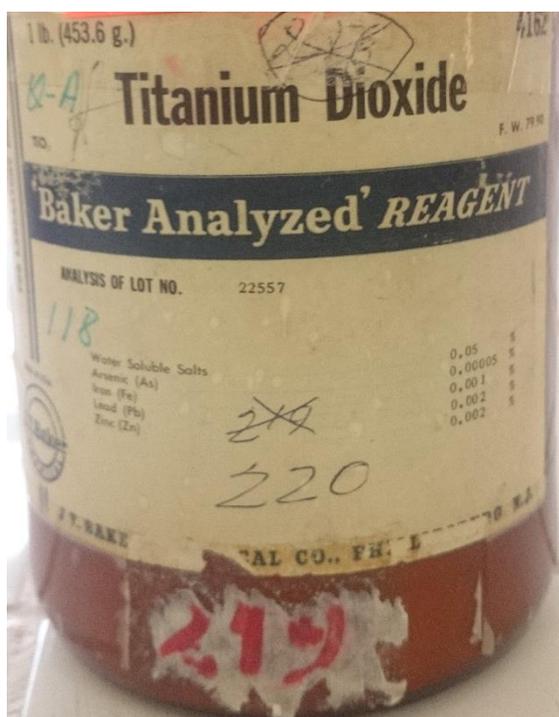


Foto 9: Reactivo utilizado Peróxido de hidrogeno 30% v/v.

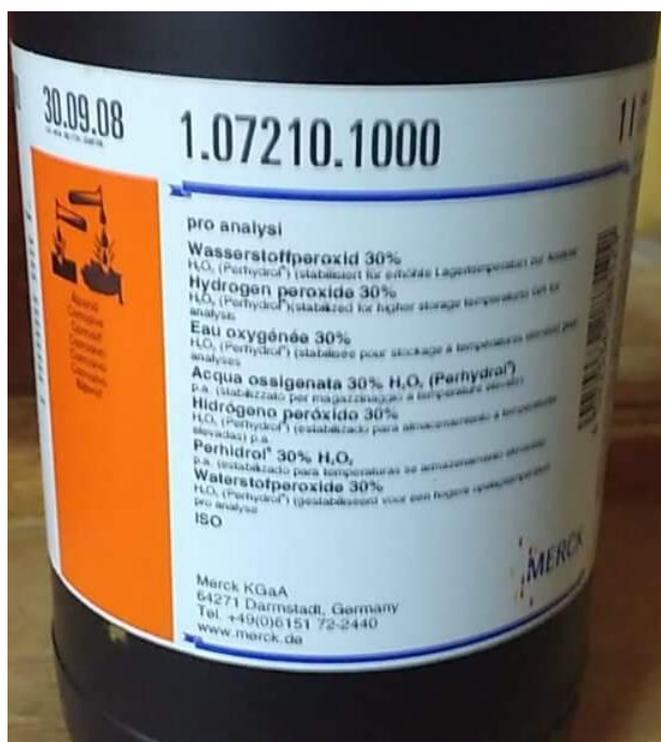


Foto 10: Reactivo utilizado Sulfato de hierro II.

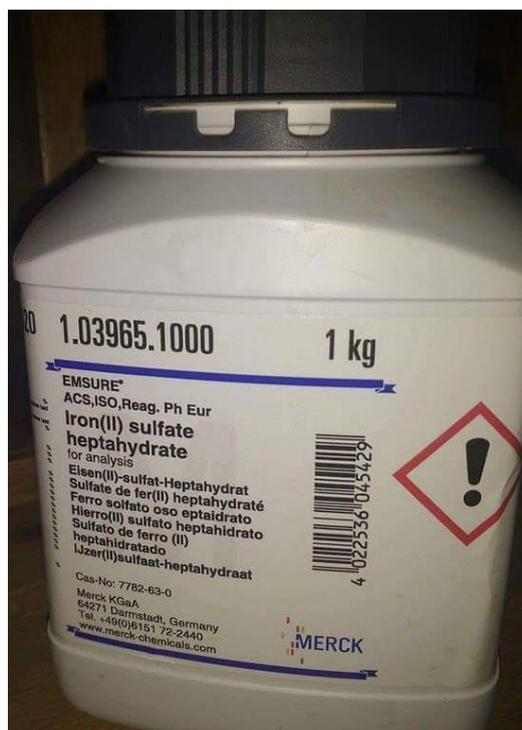


Foto 11: Pesado del dióxido de titanio en la balanza analítica.

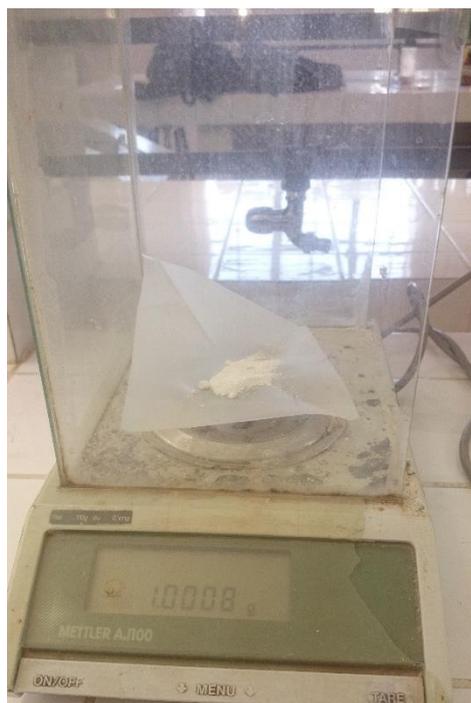


Foto 12: Pesado del sulfato de hierro II en la balanza analítica.

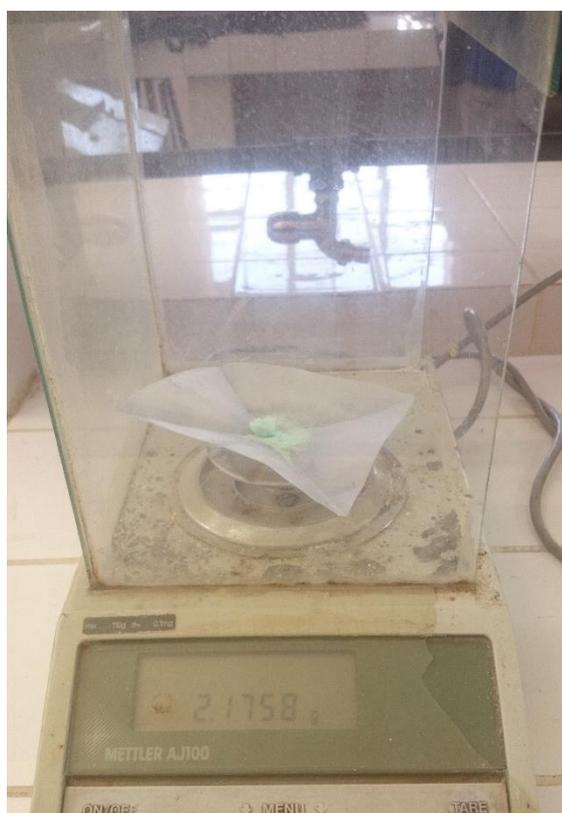


Foto 13: Muestras de los diferentes tratamientos realizados en el equipo de procesos de oxidación avanzada (POA)



Foto 14: Muestras de los tratamientos realizados en el equipo de procesos de oxidación avanzada (POA)



Foto 15: Tesista operando el equipo de proceso de oxidación avanzada.



Foto16: Resultados obtenidos después del tratamiento por el Proceso de oxidación avanzada.

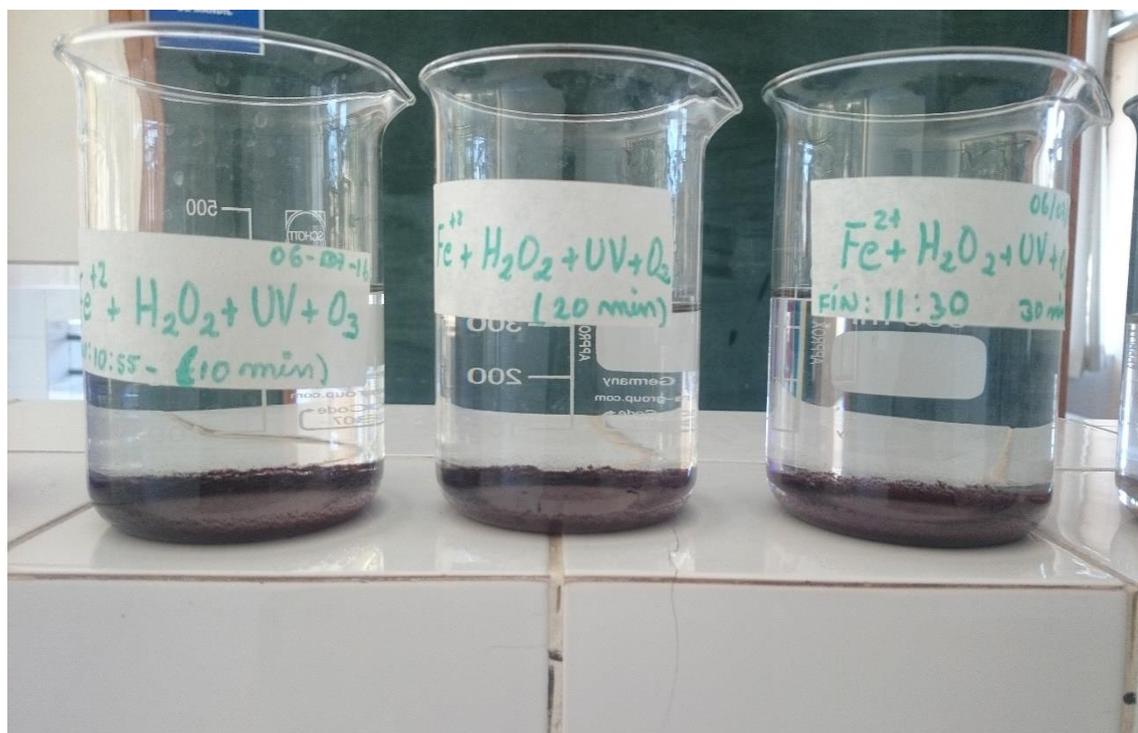
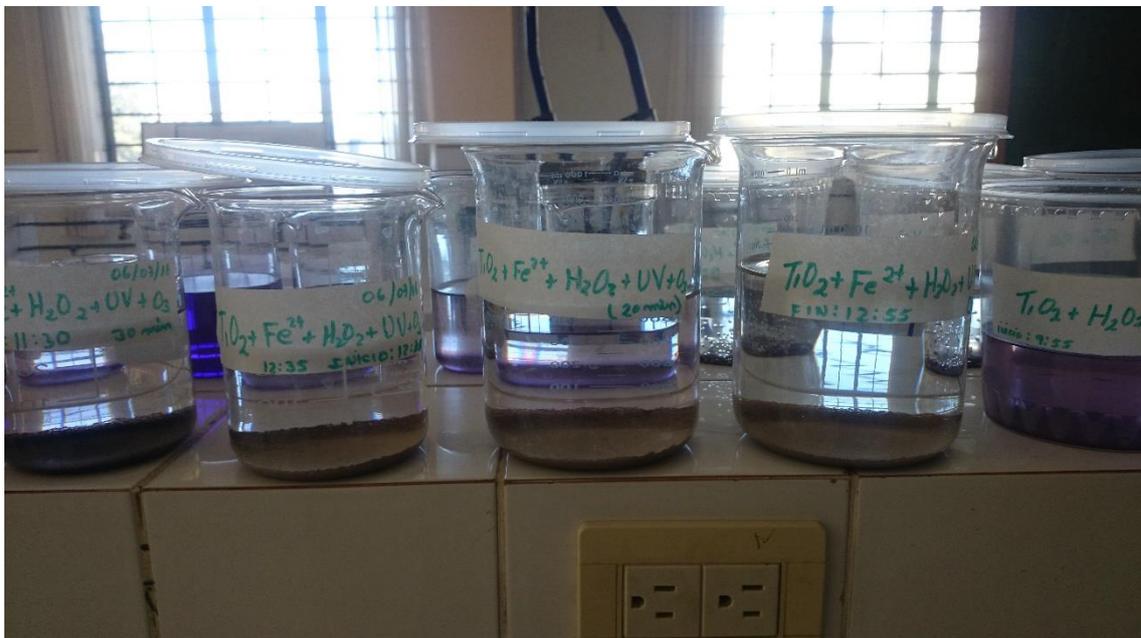


Foto 17: Resultado optimo, obtenido por el proceso de oxidacion
avanzada con $\text{TiO}_2/\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$



**ANEXO 2:
PROFORMA COSTO EQUIPO PROCESO
DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)**



Calle Pez Austral 387 Oficina 202
Urb.Sol de Vitarte Ate Lima - Perú
☎ : 425-5683
☎ : 999-365655
E-mail: iqartem_aquaf@hotmail.com
Global_hidraulica@speedy.com.pe

Proforma N° 0636-2015
Lima, 01 de Setiembre del 2015

Señores
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA – UNA – PUNO
Presente.-

Atn. : Daniel Delgado Nina
Nancy Santander Pacaricona
Ref. : Diseño de una Planta Piloto de Oxidación Avanzada para Tratamiento de Agua

Estimados señores:

Es muy grato para nosotros enviarles cordiales saludos y de acuerdo a su solicitud, tenemos a bien poder presentarles nuestra **PROFORMA** por lo siguiente:

DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE OXIDACION AVANZADA PARA TRATAMIENTO DE AGUA.

El diseño y suministro de la Planta Piloto de Oxidación para Tratamiento de Agua, consiste en lo siguiente:

- Esquema de diseño de la Planta Piloto. \$ 250.00
- Estructuras y componentes de la planta piloto y sus características \$ 2,250.00

Componentes:

- Un (01) Tanque de Agua Cruda de 50 Litros en Fibra de Vidrio o Polietileno.
- Una (01) Bomba de alimentación de ½ HP de trasvase y alimentación
- Un (01) Esterilizador Ultravioleta UV de 1 gpm
- Un (01) Generador de Ozono con Inyector
- Un (01) Tanque de agua tratada de 50 Litros de Fibra de Vidrio o Polietileno

VALOR DE VENTA U.S. \$ 2,500.00

Términos de Venta:

- Valores : Expresados en Dólares Americanos
- Forma de Pago : 70% con la Orden, 30% a la entrega
- Cuenta \$ Banco Continental : 0011-0132-88-0200158278
- Plazo de Entrega : 20 Días

Sin otro particular, quedamos a la espera de sus gratas órdenes;

Muy atentamente,

Ing. ARTEMIO CHOQUEZA N.
Cel. 999365655

**ANEXO 3:
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA**



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N° 0828

LQ-2016

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL – DEMANADA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

PROCEDENCIA : Planta Industrial Textil "San Francisco", Juliaca - San Román - Puno

INTERESADO : Bach. Daniel Ángel Delgado Nina
 Bach. Nancy Edith Santander Pacoricona

MOTIVO : Ejecución de tesis "Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada"

MUESTREO : 14/07/2016, por el interesado

ANÁLISIS : 14/07/2016

COD. MUESTRA : B -1977/01

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

ASPECTO : Líquido

COLOR : Azul oscuro

OLOR : No Característico

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

N°	MUESTRA	TRATAMIENTOS POR OXIDANTES (POA)	DQO INICIAL (mg/L)	DQO FINAL (mg/L)	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	TEMP. (°C)
0	Solución Estándar		60.0	60.0	70	12
1	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂	56.0	38.0	70	12
2	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	56.0	14.6	70	12
3	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.0	15.8	70	12
4	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂	57.0	15.2	70	12
5	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	58.0	14.1	70	12
6	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.0	16.2	70	12
7	Muestra (**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	103.0	30.1	70	12

Puno, C.U. 20 de octubre de 2016.

V°B°



[Signature]
 Ing. M. Sc. Edith Tello Palma
 DECANA F.I.Q.



[Signature]
 Ing. M.Sc. Maria Rodríguez Melo
 Jefe Laboratorio Control de Calidad
 FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
 UNA - PUNO

Ciudad Universitaria Av: Floral s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -352992 .



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ-2016

0829

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL – NITROGENO TOTAL KJENDAHL

PROCEDENCIA : Planta Industrial Textil "San Francisco", Juliaca - San Román - Puno

INTERESADO : Bach. Daniel Ángel Delgado Nina
 Bach. Nancy Edith Santander Pacoricona

MOTIVO : Ejecución de tesis "Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada"

MUESTREO : 14/07/2016, por el interesado

ANÁLISIS : 14/07/2016

COD. MUESTRA : B - 1977/02

CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:

ASPECTO : Líquido

COLOR : Azul oscuro

OLOR : No Característico

CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS

Nº	MUESTRA	TRATAMIENTOS POR OXIDANTES (POA)	NITROGENO INICIAL (mg/L)	NITROGENO FINAL (mg/L)	TIEMPO DE REACCION (min)	TEMP. (°C)
0	Solución Estándar		16.80	16.80	70	12
1	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂	15.80	12.30	70	12
2	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	14.6	10.84	70	12
3	Solución Estándar	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV/O ₃	15.9	10.03	70	12
4	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂	16.2	6.50	70	12
5	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV	15.6	5.17	70	12
6	Solución Estándar	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	16.2	3.12	70	12
7	Muestra (**)	TiO ₂ /Fe/H ₂ O ₂ /UV/O ₃	58.3	26.20	70	12

Puno, C.U. 20 de octubre de 2016.
 VºBº



M. Sc. Edith Tello Palma

M. Sc. Edith Tello Palma
 DECANO F.I.Q.



Ingr. Mariana Rodríguez Melo

Ingr. Mariana Rodríguez Melo
 Laboratorio Control de Calidad
 FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
 UNA-PUNO

Ciudad Universitaria Av: Floral s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 - 352992 .

ANEXO 4:
DECRETO SUPREMO
N° 021-2009-VIVIENDA



Decreto Supremo Nº 021-2009-VIVIENDA

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2° de la Ley Nº 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio, formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, correspondiéndole por tanto dictar normas de alcance nacional y supervisar su cumplimiento;

Que, asimismo el literal a) del Artículo 8° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo Nº 002-2002-VIVIENDA, establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento diseña, norma y ejecuta la política nacional y acciones del sector en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;

Que, la Ley Nº 26338, Ley General de Servicios de Saneamientos, en adelante la Ley General, ha declarado que dichos servicios son de necesidad y utilidad pública y de preferente interés nacional, cuya finalidad es proteger la salud de la población y el ambiente;

Que, el Artículo 15° de la Ley General, establece que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios, no dañar la infraestructura correspondiente y cumplir con las normas que los Reglamentos de las entidades prestadoras establezcan; asimismo dispone que el daño o la depredación de los equipos e instalaciones de los servicios de saneamiento; así como el uso indebido de los mismos serán sancionados en la forma que establezca el Reglamento de la Ley General y las disposiciones que para el efecto dicte la Superintendencia, sin perjuicio de la responsabilidad penal que tuviese el infractor.

Que, mediante Decreto Supremo Nº 023-2005-VIVIENDA se aprobó el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, en adelante el TUO del Reglamento;

Que, el literal g) del Artículo 56° del TUO del Reglamento establece como derecho de las EPS suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente, quedando la EPS facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio; por otro lado el literal h) del mismo artículo dispone que en casos especiales las EPS pueden cobrar el costo adicional por las cargas en el sistema de alcantarillado que superen los límites establecidos por cada EPS en su Reglamento de Prestación



de Servicios, indicando que dicho costo adicional será considerado como un servicio colateral;

Que, el tercer párrafo del Artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece que corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado;

Que, las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, y evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales;

Que, por otro lado la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos;

Que, es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales, estableciendo y aprobando para este caso Valores Máximos Admisibles (VMA) en lugar de Límites Máximos Permisibles, pues estos últimos son parámetros de orden ambiental que se aplican a las descargas de efluentes en cuerpos receptores y tiene influencia en el ecosistema y el ambiente;

Que, en ese sentido resulta necesario modificar e incorporar las disposiciones pertinentes establecidas en el TUO del Reglamento de la Ley General a fin de concordar la nomenclatura y definición de los VMA;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del Artículo 118° de la Constitución Política del Perú, Leyes N° 26338, N° 27792, N° 29338, Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, y demás normas pertinentes.

DECRETA:

Artículo 1°.- Finalidad, Ámbito de aplicación y obligatoriedad de la norma

La presente norma regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.





Decreto Supremo

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 2°.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 que forman parte integrante de la presente norma.

Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1, deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 no pueden ser sobrepasados. En caso de sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

Artículo 3°.- Definición de Valores Máximos Admisibles (VMA)

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Artículo 4°.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario

Las EPS o las que hagan sus veces, podrán cobrar a los usuarios no domésticos el pago adicional, de acuerdo a la normatividad vigente, correspondiente al exceso de concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (AyG), medidos en la caja de registro de la red de alcantarillado o un dispositivo adecuado para este proceso, conforme al procedimiento que se establecerá en el Reglamento de la presente norma.

La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los valores máximos admisibles, será elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, en un



plazo no mayor de la fecha de entrada en vigencia del Reglamento de la presente norma. Dicha metodología deberá ser incorporada en el Reglamento de Prestación de Servicios correspondiente a cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 5°.- Suspensión del Servicio de Alcantarillado

Las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de los anexos N°1 y N°2.

Artículo 6°.- Caso fortuito o fuerza mayor

Cuando por caso fortuito o fuerza mayor el usuario no doméstico efectúe descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario superando los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecido en el Anexo N° 2 de la presente norma, las EPS o las entidades que hagan sus veces, evaluarán si procede exonerar temporalmente al usuario no doméstico de los alcances del artículo 5°, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 7°.- Control de las aguas residuales no domésticas

El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante INDECOPI. Los pagos deberán ser asumidos por el usuario no doméstico de acuerdo al procedimiento que el ente competente establecerá concordante con la presente norma. La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 8°.- Actualización de los VMA

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra autorizado a modificar los Valores Máximos Admisibles a través de una Resolución Ministerial. Para tal efecto, la Dirección Nacional de Saneamiento, evaluará y, de ser el caso, sustentará la modificación y actualización de los parámetros de los Valores Máximos Admisibles, señalados en los Anexos N° 1 y N° 2, previo análisis y estudio efectuado por las EPS o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo a la caracterización del tipo de descarga no doméstica vertida a los sistemas de alcantarillado.

Artículo 9°.- Prohibiciones

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconveniente en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el Reglamento de la presente norma.





Decreto Supremo

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA.- La presente norma entrará en vigencia conjuntamente con la aprobación de su Reglamento, el cual será elaborado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en un plazo máximo de trescientos sesenta y cinco (365) días calendario, contados a partir de la publicación de la presente en el Diario Oficial El Peruano.

SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentren efectuando descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años.

En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma serán de aplicación inmediata.

TERCERA.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante Resolución Ministerial, aprobará las normas complementarias que sean necesarias, para la aplicación e implementación del presente Decreto Supremo.

CUARTA.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS

ÚNICA.- Modifíquense los literales g) y h) del Artículo 56° del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, con el texto siguiente:

Artículo 56°.- Son derechos de la EPS:
(...)

g) Suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes no domésticos que se vierten en él, no cumplan con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en la normatividad vigente. Las EPS o las entidades que hagan sus veces, quedan facultadas para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.

h) Cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por



la normatividad vigente. Dicho pago adicional será incorporado en el Reglamento de Prestación de Servicios de cada EPS o las entidades que hagan sus veces.



DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS DEROGATORIAS

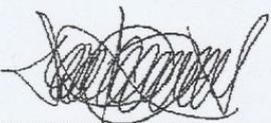
ÚNICA.- Deróguense todas las normas que se opongan al presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil nueve.

Regístrese, comuníquese y publíquese.




ALAN GARCÍA PÉREZ
 Presidente Constitucional de la República


JUAN SARMIENTO SOTO
 Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO Nº 01

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

ANEXO Nº 02

Valores Máximos Admisibles (1)

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH ⁽²⁾	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables ⁽²⁾	Ml/L/h	S.S.	8.5
Temperatura ⁽²⁾	°C	T	<35

⁽¹⁾ La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.

⁽²⁾ Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

ANEXO 5:
**MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO PARA
EL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)**

INTRODUCCIÓN

En este manual se encuentra toda la información necesaria, para conocer, poder operar y dar mantenimiento al equipo de Procesos de Oxidación Avanzada (POA) para aguas residuales de la industria textil.

El equipo usa sofisticados accesorios de radiación UV y ozonificación, motivo por el cual la operación y mantenimiento siempre debe realizarse obligatoriamente por personal calificado, a su vez las instrucciones y procedimientos de operación descritos en este manual deberán ser seguidos en orden correcto,

Se recomienda leer este manual antes de operar el equipo y tome las precauciones de seguridad necesarias.

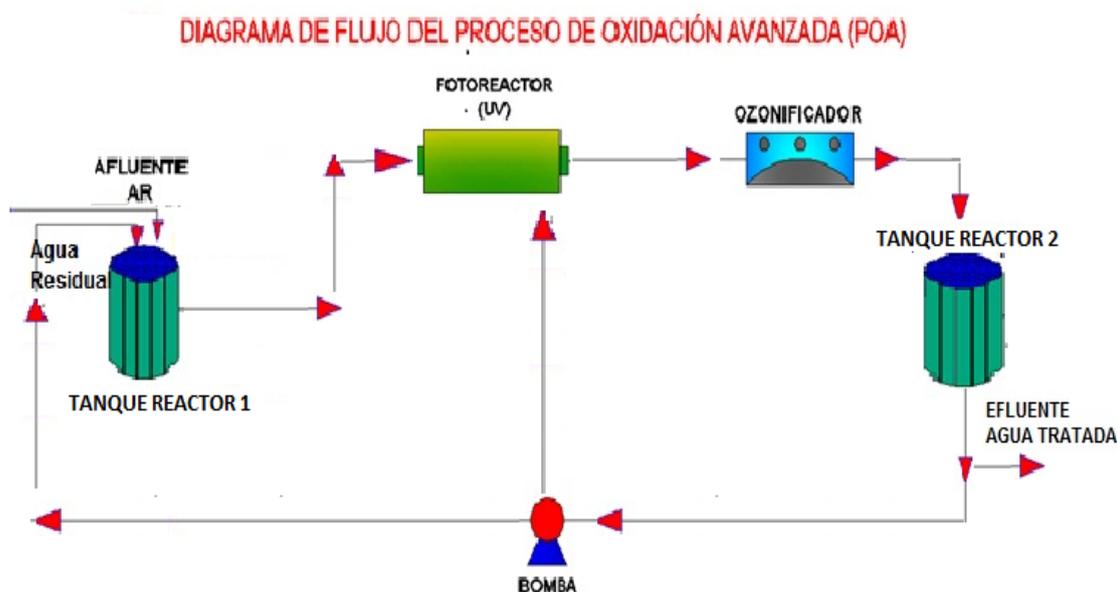
El presente equipo para Procesos de Oxidación Avanzada (POA) para aguas residuales de la industria textil, cuenta con dos tanques reactores acrílicos de 40 litros c/u, una bomba para recircular y homogenizar las muestras de aguas residuales, ozonificador, fotoreactor UV, tablero de control, tuberías de PVC.

I. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EN EL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA):

SISTEMA DE CIRCULACIÓN.

El sistema de circulación que complementa al reactor, consta de dos tanques reactor de material acrílico con una capacidad de 50L, donde la solución es aireada y homogenizada con los reactivos de (POA), con la ayuda de una bomba de (1/2) Hp de potencia, se recircula la solución a una velocidad de 10 L/min.

FIGURA 1: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA) EN EL LABORATORIO.



FUENTES DE RADIACIÓN

En el tratamiento fotocatalítico que se emplea una fuente de radiación, lámparas de 400 W de potencia media de mercurio, de 254 nm.

Para conocer la importancia de estas lámparas y su intensidad es conveniente definir el uso. Si se desea trabajar con un sistema fotocatalítico utilizando TiO_2

que tiene una barrera energética de 3.2 V se necesita lámparas de longitudes de onda menor a 290 nm por lo que se trabajó con lámparas de 254 nm sin mayores problemas.

OZONIFICACIÓN:

La técnica se basa, fundamentalmente, en lograr un tiempo de contacto adecuado del agua, con la cantidad adecuada de ozono. Concentraciones de entre 0,5 y 0,8 mg/L de ozono durante unos tres o cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectada. Tras el tratamiento, el ozono se descompone en oxígeno tras varios minutos no dejando ningún tipo de residual, por consiguiente, tampoco existirá ningún residual desinfectante que pudiera prevenir el crecimiento bacteriológico. En los casos en los que sea necesario asegurar que el agua de consumo ha sido recién tratada con ozono, el sistema de ozonización se realizará en un depósito con un caudal de recirculación, en donde mediante un inyector Venturi se añadirá la producción de ozono adecuada, esta cantidad de ozono y por tanto, la concentración de ozono residual en el depósito depende, en primer lugar, de las características de producción del equipo, y en segundo lugar, del tiempo de funcionamiento del mismo. Para sistemas más complejos de regulación y control puede instalarse una sonda de medición de ozono residual en el agua que actúe directamente sobre la producción del equipo para alcanzar el valor de consigna preestablecido como el ideal de concentración de ozono en el agua.

II. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS ACCESORIOS DEL EQUIPO (POA):

A. TANQUE REACTOR 1:

Nos permite almacenar y homogenizar el agua residual con los reactivos utilizados en el proceso.

Características técnicas:

- Material : acrílico.
- Volumen : 50 L

Condiciones de operación:

Volumen mínimo de 25% de agua residual, con volúmenes inferiores el equipo no opera.

B. TANQUE REACTOR 2:

Nos permite almacenar el agua residual tratada por los procesos de oxidación avanzada.

Características técnicas:

- Material : acrílico.
- Volumen : 50 L

Condiciones de operación:

Volumen mínimo de 25% de agua residual, con volúmenes inferiores el equipo no opera.

C. TABLERO DE CONTROL:

Características técnicas:

- Material :Acero inoxidable.
- Tipo de operación : Manual
- Voltaje : 220V

Condiciones de operación:

Flujo continuo de voltaje de 220V.

Elementos de control:

- Tablero de control para encender o apagar (ON – OFF) la bomba, ozonificador y espectrofotómetro UV.
- Señalización con luces led, las cuales nos indican el estado y el proceso con el que se esta trabajando los procesos de oxidación avanzada con UV y O₃..

D. ELECTROBOMBA:

Cumple la función de recircular, homogenizar e impulsar por medio de las tuberías el agua residual para su tratamiento.

Características:

- Marca : KARSON
- Modelo : BKM-60
- Revoluciones : 3450 r/min
- Frecuencia : 60 Hz
- Potencia : 0.5 HP
- Presión máxima : 35 m

- Flujo máximo :35 L/min
- Voltaje : 220 V

OPERACIÓN:

- Para su funcionamiento ir a tablero de control y encender el selector de mando.

E. FOTOREACTOR ULTRAVIOLETA (UV):**Características:**

- La luz UV se integra en el cuerpo del reactor
- Potencia de la lámpara: 400 W (G16 T5 PHILIPS tubo)
- 2 perno de cada lado
- Fuente de alimentación: 12 v
- Longitud: 254 mm
- Diámetro: Ø 16 mm
- Material: acero inoxidable

Operación:

- Para su funcionamiento ir al tablero de control y encender el selector de mando, abrir la llave de paso que permite que el agua residual pase por el esterilizador ultravioleta y así sea tratada.

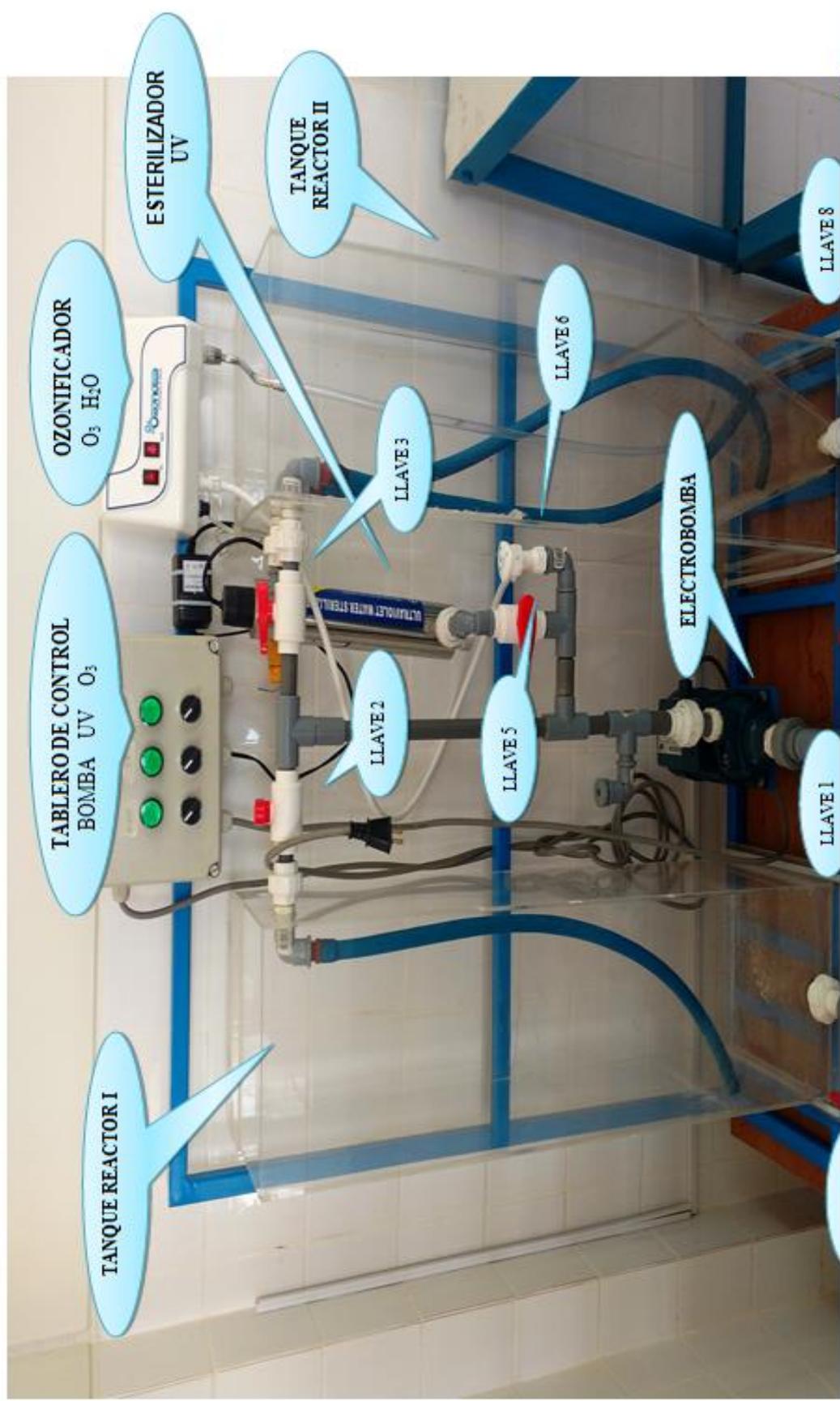
F. OZONIFICADOR (O₃):**Características**

- Marca : Ozonolife
- Modelo :
- Caudal : 1 – 2 L/min máximo.
- Fuente de alimentación: 220 V

Operación:

- Primero encender el equipo ozonificador antes de encender la bomba.
- El encendido del equipo es con el selector del tablero de control, ambos deben estar encendidos en línea (color rojo)
- Siempre debe estar en línea (encendido) el botón de H₂O, el equipo es muy sensible de no cumplir con esta indicación el ozonificador se fundirá.
- El botón de O₃ se recomienda que este línea (encendido), puesto que el tablero de control se encargara de encender y apagar el ozonificador.
- Encender la bomba de agua, dejar correr agua a caudal regulado de 1 a 2 L/min como máximo, para ellos abrir la válvula de entrada de agua retornando una parte al tanque de succión y solo enviar agua a bajo caudal al equipo.
- Para culminar de usar el ozonificador siempre primero apagar la bomba desde el tablero de control posteriormente el interruptor del ozonificador.

FIGURA N° 2: PARTES Y ACCESORIOS DEL EQUIPO DE OXIDACION AVANZADA (POA)



III. INSTRUCCIONES PARA EL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DEL EQUIPO:

Para iniciar el funcionamiento del equipo para Procesos de Oxidación Avanzada (POA) se debe seguir los siguientes pasos:

1. Verificar que haya fluido eléctrico antes de encender el equipo y que todas las llaves estén cerradas.
2. Llenar el tanque reactor I con el agua residual sin tratamiento.
3. Encender la bomba con el switch del tablero de control y abrir las llaves 1 y 2 para recircular y homogenizar el agua residual con los reactivos utilizados.
4. Una vez adicionados los reactivos para el proceso de oxidación avanzada en el agua residual y homogenizados abrimos la llave N° 3 para que el agua residual a tratar pase al tanque reactor II.
5. Cerrar las llaves 1 y 2 para evitar que el agua residual retorne al tanque reactor I.
6. Apagar la bomba.
7. **Para el tratamiento UV:**
 - Prender en el tablero de control, el switch de la bomba y el tratamiento por UV para que pueda empezar el tratamiento del agua residual.
 - Abrir la llave 3 y 4 para que recircule el agua residual y que la bomba no sufra en el momento de recircular, para que al agua residual pueda ser tratada y pase por medio de fotoreactor UV debemos abrir ligeramente la llave 5 (no abrir toda la llave porque al recircular rápidamente el tratamiento no será efectivo).

- Hacer recircular por el tiempo que requiera la prueba experimental hasta ver los resultados requeridos.
- Al culminar la prueba apagar primero la electrobomba desde el tablero de control y luego el fotorreactor.
- Cerrar la llave 5 del foto reactor UV.

8. Para el tratamiento con O_3 :

- El ozonificador presenta 2 switch, uno para el O_3 y el otro para el H_2O , ambos deben estar encendidos en línea (color rojo). Antes de encender la bomba.
- **Siempre debe estar en línea (encendido) el botón de H_2O , el ozonificador es muy sensible de no cumplir con esta indicación el ozonificador se fundirá**
- El botón de O_3 se recomienda que este línea (encendido), puesto que el tablero de control se encargara de encender y apagar el ozonificador.
- Encender el ozonificador con el switch desde el tablero de control.
- Abrir la llave 3 y 4 para que recircule el agua residual y que la bomba no sufra en el momento de recircular
- Encender la electrobomba desde el tablero de control.
- Para el proceso de ozonificación abrir ligeramente la llave 6 y dejar correr agua a caudal regulado de 1 a 2 L/min como máximo para el ingreso del agua residual al ozonificador.
- Para culminar de usar el ozonificador siempre primero apagar la bomba desde el tablero de control posteriormente el interruptor del ozonificador.

9. Para el tratamiento de UV y O_3 :

- Abrir la llave 3 y 4 para que recircule el agua residual y que la bomba no

sufra en el momento de recircular

- Encender el ozonificador con el switch desde el tablero de control.
 - Prender en el tablero de control, el switch de la bomba y el fotoreactor UV para que pueda empezar el tratamiento del agua residual por ambos métodos.
 - Abrir la llave 5 y 6 como en los anteriores procesos, para el proceso de tratamiento por oxidación avanzada del agua residual por ambos métodos.
 - Hacer recircular por el tiempo que requiera la prueba experimental hasta ver los resultados requeridos.
 - Para culminar de usar el ozonificador y el fotoreactor UV siempre primero apagar la bomba desde el tablero de control posteriormente el interruptor del ozonificador y fotoreactor UV.
 - Cerrarla llave 3 y 4 para evitar que el agua residual tratada se baya a las tuberías.
- 10.** Al culminar los procesos en el fotoreactor UV, ozonificador (O_3) y UV/ O_3 se puede esperar a que sedimente los residuos en el tanque reactor II para luego abrir la llave 8 y purgar la muestra y nos quede el agua residual tratada en el tanque fotoreactor II ó tambien se puede pasar el agua residual tratada a otros envase o reservorios.
- 11.** Para concluir con el uso del equipo se debe purgar la bomba y hacer una recirculación de todo el equipo, tuberías y accesorios (fotoreactor UV, ozonificador) con agua desionizada hasta que el agua desionizada tenga el mismo color con el que ingreso mediante los mismo procesos anteriormente descritos para su uso y funcionamiento del equipo.

12. Limpiar el equipo y no dejar residuos de agua en los tranques reactores, tuberías, bomba. Purgar completamente todo el equipo.

OBSERVACIONES DE SEGURIDAD:

Es necesario establecer las siguientes condiciones de seguridad para el manejo del presente equipo.

- Personal calificado para la instalación, operación y mantenimiento del equipo.
- No realizar trabajos de mantenimiento en el equipo y accesorios sin tomar las medidas de seguridad correspondientes.
- No usar el equipo fuera del manual e instrucciones indicados.

Es responsabilidad del usuario que se cumplan las condiciones establecidas.

MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES:

Tenga en cuenta las siguientes indicaciones para el mantenimiento del equipo.

De esta manera, conseguiremos las mejores condiciones para una larga vida útil y funcionamiento sin fallos del equipo.

- Hacer una inspección completa periódicamente de todos los accesorios y partes del equipo de proceso de oxidación avanzada (POA), comprobar que todos los accesorios funcionen correctamente.
- Después de cada proceso experimental en el equipo dejarlo limpio y seco sin ningún tipo de residuo o partículas.
- Antes de alimentar a los tanques reactores verificar que estén libres de partículas y/o cualquier sustancia que pueda obstruir la bomba, ozonificador y fotoreactor UV.