

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO FOTOFENTON PARA
DEGRADAR CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES DE
EFLUENTES RESIDUALES TEXTILES MEDIANTE EL USO DE
LOS COLECTORES PARABÓLICOS COMPUESTOS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

**ANDY JORGE SALAZAR SANCHEZ
FLOR MARIA ORTEGA BLAS**

Callao, Junio, 2018

PERÚ





*A mi madre Rosita, quien sacrificó sus sueños para hacer
realidad los míos y quien a lo largo de mi formación me inculcó:
estudio, trabajo y humildad.*

Flor María Ortega Blas

*A todos aquellos que no tuvieron la oportunidad de estudiar.
A mis padres Jorge y Gina, que con su ejemplo aportaron en mí:
el respeto, la ética, el estudio y la perseverancia.*

Andy Jorge Salazar Sánchez

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres por su continuo apoyo incondicional en la realización de este trabajo. Al Dr. José Ramón Cáceres Paredes, nuestro más profundo agradecimiento por su apoyo emocional y económico para la culminación de este proyecto de tesis. Al Dr. Luis Américo Carrasco Venegas, nuestro especial agradecimiento por el apoyo en el ámbito temático, gracias a su trayectoria en investigación se pudo comprender mejor ciertos fenómenos complejos vistos en este proyecto. Al Mg. Erick George Álvarez Yanamango, nuestro infinito agradecimiento por el apoyo en el aspecto metodológico, gracias a su continua asesoría se logró desarrollar los objetivos de la investigación. A la Dira. Ana Rosario Mercado del Pino, por el interés mostrado en nuestro trabajo y por abrimos las puertas de los laboratorios del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria-IIEA-UNAC, a nuestros compañeros de laboratorio muchas gracias. A la Universidad Nacional del Callao - UNAC y especialmente a la escuela de Ingeniería Química, que durante nuestra formación académica permitió nuestro crecimiento a nivel profesional y personal, a la plana docente y al equipo administrativo por su apoyo y disposición muchas gracias.

Un agradecimiento muy especial a nuestros colaboradores en esta investigación, a todos aquellos los cuales consideramos nuestros compañeros y amigos, Yuri Castillo, David Moreano, Omar Aranda, Rafael Alonso, Félix Villa Juan. Al técnico Walter Paulino y a la secretaria María Tahuana del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria-IIEA-UNAC.

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS -----	10
ÍNDICE DE TABLAS -----	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS -----	12
RESUMEN -----	13
ABSTRACT -----	14
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN -----	15
1.1. Identificación del problema	15
1.2. Formulación del problema	17
Problema general -----	17
Problemas específicos -----	17
1.3. Objetivos de la investigación	18
Objetivo general -----	18
Objetivos específicos -----	18
1.4. Justificación	19
1.5. Importancia	20
II. MARCO TEORICO -----	21
2.1. Antecedentes del estudio	21
2.2. Marco teórico	22
2.2.1. Industria textil -----	22
2.2.2. Contaminantes orgánicos persistentes (COPs) -----	24
2.2.3. Procesos de Oxidación Avanzada (PAOs) -----	25

2.2.4.	Fotocatálisis mediante radiación uv-a/c artificial y/o solar-----	36
2.3.	Definición de términos	44
2.3.1.	La radiación ultravioleta (UV)-----	44
2.3.2.	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)-----	44
2.3.3.	Catalizador (Fe ²⁺)-----	45
2.3.4.	Fotodegradación -----	45
2.3.6.	Nomenclatura-----	46
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS -----	47
3.1.	Variables de la investigación	47
	Variables independientes-----	47
	Variables dependientes -----	47
3.2.	Operacionalización de variables	47
3.3.	Hipótesis	49
	Hipótesis general -----	49
	Hipótesis específicas-----	49
IV.	METODOLOGÍA -----	50
4.1.	Tipo de Investigación	50
4.2.	Diseño de Investigación	50
4.2.1.	Diseño de experimentos -----	50
4.3.	Población y Muestra	51
	Población -----	51
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
4.4.1.	Técnicas para la recolección de datos -----	52

4.4.2. Instrumentos de recolección de datos-----	55
4.5. Procedimientos de recolección de datos	60
Procedimiento experimental	63
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos	69
V. RESULTADOS -----	71
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS-----	87
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados	87
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	91
VII. CONCLUSIONES-----	93
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	95
ANEXOS -----	99

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	ESTRUCTURA QUIMICA DE COLORANTES TEXTILES	24
FIGURA 2.2	PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA	27
FIGURA 2.3	ACCIÓN DEL RADICAL HIDROXILO SOBRE EL FENOL	28
FIGURA 2.4	ESQUEMA DEL CICLO DE LA REACCIÓN FOTOFENTON	32
FIGURA 2.5	RADIACIÓN SOLAR REFLEJADA EN UN COLECTOR CPC	38
FIGURA 2.6	CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO (CPC)	39
FIGURA 2.7	DISPOSITIVOS DEL COLECTOR CPC	40
FIGURA 4.1	EQUIPO FOTOCATALÍTICO A NIVEL LABORATORIO	56
FIGURA 4.2	REACTOR FOTOCATALÍTICO A NIVEL PILOTO	57
FIGURA 4.3	EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE	57
FIGURA 4.4	MULTIPARAMETRO DE PH Y CONDUCTIVIDAD	58
FIGURA 4.5	BALANZA ANALÍTICA	58
FIGURA 4.6	CENTRIFUGADORA	59
FIGURA 4.7	FLUJOGRAMA DEL PROCESO EXPERIMENTAL	62
FIGURA 4.8	TOMA DE MUESTRA	63
FIGURA 4.9	PREPARACION Y ESTANDARIZACION DE LA SODA	63
FIGURA 4.10	SOLUCIONES PARA DETERMINAR HIERRO	64
FIGURA 4.11	SOLUCIONES PATRONES DE SAL DE MOHR	65
FIGURA 4.12	ACONDICIONAMIENTO DEL PROCESO FOTOFENTON	65
FIGURA 4.13	TRATAMIENTO DE ALICUOTAS PARA MEDIR SUS ABSORBANCIAS	66
FIGURA 4.14	DISPOSICION DEL AGUA TRATADA	67
FIGURA 4.15	ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL	68
FIGURA 4.16	PRUEBA EXPERIMENTAL A NIVEL PILOTO	69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	POTENCIAL REDOX DE AGENTES OXIDANTES	26
TABLA 2.2	TIPOS DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (PAOS)	29
TABLA 3.1	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	48
TABLA 4.1	DISEÑO DE EXPERIMENTOS	51
TABLA 5.1	ABSORBANCIAS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	73
TABLA 5.2	ANÁLISIS DE DATOS CON MINITAB	74
TABLA 5.3	OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA DEL %DEGRADACIÓN	75
TABLA 5.4	DATOS DE CORRELACIÓN: HIERRO; PEROXIDO; %DEGRADACION	76
TABLA 5.5	TABLA DE RESPUESTA PARA LAS RELACIONES SEÑAL / RUIDO	77
TABLA 5.6	TABLA DE RESPUESTAS PARA LOS MEDIOS	78
TABLA 5.7	VALORES DE LA CONSTANTE CINÉTICA DE REACCIÓN "K"	80
TABLA 5.8	CONDICIONES DEL INSTRUMENTO	80
TABLA 5.9	CONCENTRACION DE LAS ALICUOTAS DE LA PRUEBA OPTIMIZADA	81
TABLA 5.10	DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE HIERRO EN LA PRUEBA ÓPTIMA	83
TABLA 5.11	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL DE LA EXPERIENCIA CON DATOS OPTIMOS A NIVEL LABORATORIO	84
TABLA 5.12	CONSTANTE DE LA VELOCIDAD CINÉTICA PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL OPTIMIZADA A NIVEL LABORATORIO	85
TABLA 5.13	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL OPTIMIZADA A NIVEL PILOTO	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 2.1 DIAGRAMA DE FRACCIÓN DE LAS ESPECIES DE Fe^{3+} Y $Fe(OH)_3$ EN EQUILIBRIO A 25 °C	34
GRAFICO 2.2 REFLECTANCIA ESPECTRAL DE DIFERENTES METALES	41
GRAFICO 2.3 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN LA TRANSMITANCIA ESPECTRAL DE UN FOTOREACTOR TUBULAR DE VIDRIO	42
GRAFICO 2.4 TRANSMITANCIA DE DIFERENTES MATERIALES	43
GRAFICO 2.5 VELOCIDAD DE REACCIÓN vs INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN.	44
GRAFICO 5.1 DETERMINACION DE LA LONGITUD DE ONDA MAXIMA	71
GRAFICO 5.2 CONCENTRACION VS ABSORBANCIA	72
GRAFICO 5.3 RECTA DE CALIBRACION	72
GRAFICO 5.4 GRAFICA DE RESIDUALES PARA %DEGR	75
GRAFICO 5.5 GRÁFICA DE OPTIMIZACION	76
GRAFICO 5.6 GRAFICAS DE DISPERSION % DEGR VS HIERRO	76
GRAFICO 5.7 GRAFICAS DE DISPERSION % DEGR VS PEROXIDO	77
GRAFICO 5.8 GRAFICA PARA LAS RELACIONES SEÑAL / RUIDO Y LOS MEDIO	78
GRAFICO 5.9 GRAFICO DE INTERACCION DE %DEGRA VS PROMEDIO	78
GRAFICO 5.10 GRÁFICA DE CONTORNO Y SUPERFICIE %DEGR VS HIERRO; PEROXIDO	79
GRAFICO 5.11 GRÁFICAS DE ABSORBANCIA VS LONGITUD DE ONDA	82
GRAFICO 5.12 GRAFICA DE %DEGR VS TIEMPO DE LA PRUEBA ÓPTIMA	82
GRAFICO 5.13 GRAFICO DE HIERRO VS TIEMPO	84
GRAFICO 5.14 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACION VS TIEMPO	85

RESUMEN

En este trabajo se determinaron el porcentaje de degradación de los colorantes sintéticos presentes en los efluentes residuales textiles de la FIQ-UNAC y la influencia del catalizador ($\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y agente oxidante (H_2O_2) en la degradación de dichos colorantes, utilizando el método de Superficie de Respuesta. Se realizó el seguimiento de la degradación de los colorantes sintéticos con respecto a la variación de concentración del catalizador y agente oxidante empleando el equipo espectrofotómetro uv/visible. La muestra de agua residual fue sometida durante una hora a 3 diferentes dosificaciones de catalizador (300, 400 y 500 mg/L) y agente oxidante (1,5; 2,5 y 3,5 mL/L).

La investigación realizada fue del tipo experimental y se empleó un diseño factorial 3^2 utilizando el diseño Taguchi. Para el desarrollo experimental se utilizaron dos equipos foto reactores previamente construidos con características similares pero distintas capacidades, esto con el fin de determinar la dosificación óptima a nivel laboratorio y posteriormente llevarlo a escala piloto empleando el equipo de mayor capacidad.

El porcentaje máximo de degradación de los colorantes sintéticos fue del 85% con un nivel de confianza del 95% y se obtuvieron con 500mg/L de $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 3,5mL/L de H_2O_2 por un tiempo de 1 hora.

Palabras clave: Foto degradación. COPs. Colorantes azoicos. Industria textil.

ABSTRACT

In this work the percentage of degradation of the synthetic dyes present in the textile residual effluents of the FIQ-UNAC and the influence of the catalyst ($\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and oxidizing agent (H_2O_2) in the degradation of the said dyes was determined, using the Response Surface method. The degradation of the synthetic dyes was monitored with respect to the dosage variation of the catalyst and oxidizing agent using the spectrophotometer equipment Uv/Visible. The residual water sample was submitted for one hour in 3 different catalyst dosages (300, 400 and 500 mg/L) and oxidizing agent (1.5; 2.5 and 3.5 mL/L).

The research carried out was of the experimental type and a 3^2 factorial design was employed using the Taguchi design. For the experimental development were used two equipment photo reactors previously built with similar characteristics but different capacities, This In order to determine the optimal dosage at the laboratory level and then take it to pilot scale using the highest capacity equipment.

The maximum percentage of degradation of synthetic dyes was 85% with a confidence level of 95%, were obtained with 500mg/L of $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and 3.5 ml/L of H_2O_2 were used for a period of 1 hour.

Key words: Photo degradation. POPs. Dyes azo. Textile industry.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

Las aguas residuales de la industria textil constituyen un gran problema medioambiental, debido a la presencia de diversos agentes contaminantes presentes en ellas como residuos de tensoactivos, pigmentos, colorantes, medio alcalino, gran concentración de sólidos en suspensión, entre otros. Su descarga al sistema de desagüe, en la gran mayoría de los casos se realiza sin previo tratamiento y tratándose de una industria que tiene alto consumo de agua; porque la mayoría de sus procesos se realiza en húmedo, es de suponer que la descarga de sus aguas residuales también presentan un volumen considerable; sin embargo, el manejo de los residuos químicos no sólo es un problema que deben enfrentar las industrias, sino también los laboratorios, siendo aún más acentuado los laboratorios de los centros de investigación y las universidades como la nuestra.

Los laboratorios del área textil de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao no consumen grandes volúmenes de agua por tratarse de prácticas a nivel laboratorio; sin embargo, también generan aguas residuales muy tóxicas, cuyo tratamiento es, a menudo, complicado debido a la existencia de una gran cantidad de residuos químicos. Dentro de esta gama de residuos, los más preocupantes desde el punto de vista medioambiental son los denominados no biodegradables, también llamados compuestos orgánicos persistentes (COPs), ya que, en caso de no recibir un tratamiento específico, podrían alterar el ecosistema. A partir de ahí, pueden producir

una serie de daños muy diversos e irreversibles que van desde el deterioro o desaparición de un entorno determinado hasta la alteración de la salud de los individuos que viven en dicho entorno.

Muchos de los tratamientos convencionales no pueden ser aplicados para tratar aguas contaminadas con colorantes ya que estos métodos no son capaces de degradarlos completamente; sin embargo, una opción atractiva para llevar a cabo un tratamiento eficiente son los Procesos Oxidativos Avanzados (PAOs), puesto que se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Una aplicación de los PAOs es el proceso Foto-Fenton, éste es una combinación del conocido proceso de oxidación de Fenton, con peróxido de hidrógeno y sales ferrosas, con energía lumínica, de esta manera el proceso se potencia y la eficiencia aumenta.

La aplicación del proceso Fotofenton en los laboratorios del área textil de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao logra degradar los compuestos orgánicos persistentes presentes en las aguas residuales generadas en dichos laboratorios utilizando reactores fotocatalíticos a nivel laboratorio y piloto, generando una reducción notable de la carga orgánica cumpliendo con la legislación ambiental en lo estipulado en el DS N° 021-2009-VIVIENDA, que aprobó los valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado.

1.2. Formulación del problema

Problema general

- ¿Cuál es el resultado de implementar el Proceso Fotofenton como sistema de tratamiento para degradar compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC?

Problemas específicos

- ¿Cómo influyen los cambios de concentración de sulfato de hierro en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC?
- ¿Cómo influyen los cambios de concentración de peróxido de hidrógeno en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC?

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Determinar el resultado de implementar el Proceso Fotofenton como sistema de tratamiento para degradar a los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC.

Objetivos específicos

- Determinar la influencia del sulfato de hierro en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes en aguas residuales de los laboratorios del área textil de la FIQ-UNAC.
- Determinar la influencia del peróxido de hidrógeno en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes en aguas residuales de los laboratorios del área textil de la FIQ-UNAC.

1.5. Importancia

El proceso fotofenton reduce considerable el costo de operación debido a que utiliza reactivos de bajo costo y energía renovable proveniente del sol por lo que sería una alternativa eficiente para las industrias. Por otro lado; a través del estudio de estas tecnologías se busca promover su desarrollo en las universidades, centros de investigación e industrias ya que actualmente son poco desarrollados en nuestro país.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

De acuerdo a las diversas referencias bibliográficas revisadas consideramos las más selectivas e importantes investigaciones, las cuales nos proporcionan perspectivas teóricas y prácticas.

(LEÓNIDAS PEREZ, 2017) Llevó a cabo la degradación del colorante azul de metileno residual proveniente de los residuos de un laboratorio de análisis, mediante el proceso Foto-Fenton utilizando energía solar. Las pruebas fueron llevadas a cabo a escala banco en un colector parabólico compuesto (CPC), empleando tres diferentes concentraciones de catalizador (20,40 y 100 mg/L) y 5 ml/L de peróxido de hidrógeno que fue constante en todos los ensayos. Los resultados obtenidos muestran que fue posible degradar hasta el 90% del colorante en 30 minutos de irradiación cuando se emplearon 40 mg/L de Fe (II) y que el empleo de 100 mg/L de catalizador generó una reacción de degradación tan rápida que no fue posible seguirla y que terminó con el colorante por completo en menos de 15 minutos de irradiación.

(SILVA A, 2016) Minimizó el efecto contaminante de los residuos líquidos orgánicos solubles generados en el Centro de Laboratorios de la Universidad de Medellín, por medio de la foto degradación sensibilizada (Foto-Fenton), usando luz artificial como fuente de radiación. Las concentraciones de hierro se variaron entre 5 y 50 mg/L y las de peróxido de hidrógeno entre 200 y 500 mg/L, y se encontró un valor óptimo para la remoción del Carbono Orgánico Total (COT) de 27,5 mg/L de Fe²⁺ y 300 mg/L de

H₂O₂, que corresponde a un 80% de mineralización, alcanzado en 150 minutos de irradiación.

(CHACÓN CASTILLO, 2014) Degradó una solución de colorante naranja ácido 24 con una concentración 200 mg/L y se utilizó un prototipo a escala banco. El proceso Foto-Fenton obtuvo decoloraciones superiores al 80 % empleando hierro (4; 5.9; 8) mg/L y peróxido de hidrógeno (0,1 y 0,2) mL/L. se logró una remoción de color de 95 % empleando 8mg/L de hierro y 0.1 mL/L de peróxido de hidrógeno en 90 minutos.

(GARCÉS GIRALDO, 2008) Trató aguas residuales de una industria textil, aplicando el proceso fotofenton con luz artificial. Usó tres concentraciones de hierro y peróxido las cuales fueron (0; 30; 60) mg/L y (0; 0,5; 1) mL/L respectivamente. Obtuvo una degradación del 93,7%, esto con el ensayo donde se utilizó una dosificación de 60 mg/L de FeCl₃ y 1,0 mL/L de H₂O₂ en un tiempo de 120 minutos. Además, concluyó que el agua coloreada degrada más rápidamente con el FeCl₃ que con el H₂O₂.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Industria textil

Según (ABAD LEVANO, 2013) la industria textil se caracteriza por su elevado consumo de agua y grandes volúmenes de efluentes de blanqueo que contienen cantidades apreciables de compuestos orgánicos que no son fácilmente susceptibles de tratamiento químico o biológico. Así como por la gran cantidad y variedad de compuestos usados en las diferentes operaciones.

Dichos efluentes presentan elevados valores de DQO (100-2000 mg/L) altas temperaturas, alto contenido en color, pH inestable, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos clorados. La naturaleza biorefractaria de las aguas residuales de la industria textil se atribuyen principalmente al uso extensivo de tientes y aditivos químicos, como polivinil, alcohol, surfactantes, etc.

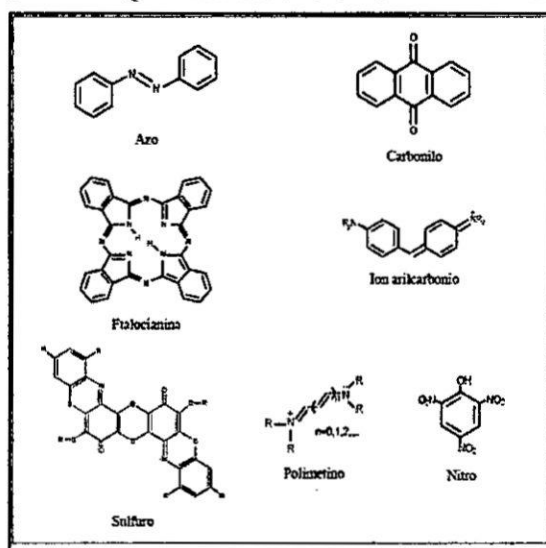
Recientemente, los métodos de tratamiento químico, basados en la generación de radicales hidroxilos, conocidos como Procesos de Oxidación Avanzada (PAO), han sido aplicadas para la degradación del contaminante, debido a la alta potencia oxidativa del radical $^{\circ}\text{OH}$ entre estas técnicas son Fenton, Foto Fenton, Electro Fenton y Foto Electro Fenton.

➤ Colorantes Textiles

Según (DIAZ SALAZAR, 2010), las moléculas de colorantes insolubles y poco solubles (dispersos, tina, sulfurosos y algunos directos) pueden ser bioeliminados de las aguas residuales, en gran medida, mediante coagulación/precipitación o por absorción/adsorción en fango activados, por lo que pueden utilizarse como métodos alternativos para la eliminación de color. Sin embargo, su éxito es muy limitado en el caso de los colorantes reactivos, debido a su alto peso molecular, elevada solubilidad en agua, baja afinidad por estos y debido a la fortaleza del enlace covalente, que los hace persistentes y les confiere buenas propiedades mecánicas. Por ello, a menos que se sometan a técnicas de tratamiento destructivas, pasan a través de las plantas de tratamiento de aguas residuales y se descargan con el efluente final.

De los colorantes disponibles en la actualidad, entre el 50 y el 70% son compuestos aromáticos que presentan en su estructura principalmente un grupo Azo o bien un grupo Antraquinona.

FIGURA 2.1
ESTRUCTURA QUIMICA DE COLORANTES TEXTILES



Fuente: (DIAZ SALAZAR, 2010)

2.2.2. Contaminantes orgánicos persistentes (COPs)

(LILIA A, 2017) señala que los COPs pertenecen a dos subgrupos: los hidrocarburos poli aromáticos y los hidrocarburos halogenados. En este último grupo, la mayoría contiene uno o más átomos de un halógeno unidos a uno o más átomos de carbono. El halógeno puede ser cloro o bromo, pero, por lo común en los COPs predomina el cloro. A causa de la baja polaridad y la estabilidad de los enlaces carbono-halógeno, estos compuestos son poco reactivos, pero muy resistentes a la degradación biológica y fotoquímica. Las propiedades químicas y fisicoquímicas específicas de cada

compuesto dependen de la estructura de la molécula y de la naturaleza de los átomos que la forman.

En general, los compuestos aromáticos clorados son más estables y, por lo tanto, más persistentes que los alifáticos clorados, por lo que la mayoría de los COPs clorados son aromáticos, aunque pueden tener uno o más sustituyentes de cadena lineal o ramificada. Se acepta que, a mayor número de átomos de halógeno en la molécula, la liposolubilidad, la tendencia a la bioacumulación y la estabilidad de las moléculas también son mayores. En particular, la estabilidad ha sido la base de muchos de los usos de los COPs, pero, al mismo tiempo, es la causa de que resistan a la degradación de todo tipo y de que su vida media en el ambiente sea elevada.

2.2.3. Procesos de Oxidación Avanzada (PAOs)

Según (JIMÉNEZ TOTOTZINTLE 2010), los PAOs establecen que la degradación de los contaminantes se realiza por medio de una especie altamente oxidante conocida como radical libre hidroxilo $^{\circ}\text{OH}$, su potencial de oxidación es 2.8 V, por lo cual es capaz de realizar oxidaciones no específicas de la mayoría de los compuestos orgánicos, e incluso algunas especies inorgánicas. Cuando se genera una concentración suficiente de radicales libres hidroxilos, los compuestos orgánicos llegan a ser degradados en compuestos no dañinos para el medio ambiente, como el agua y dióxido de carbono (CO_2), lo que se conoce como mineralización.

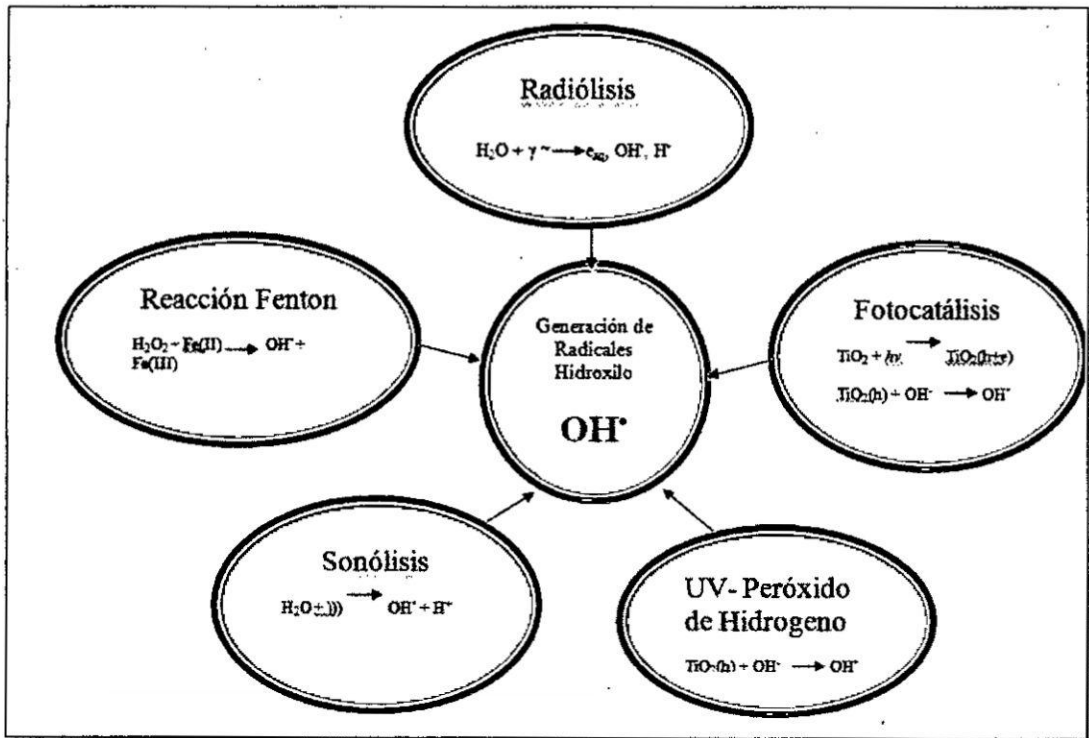
TABLA 2.1
 POTENCIAL REDOX DE AGENTES OXIDANTES

Especie	$E^0(v,25^0C)$
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Oxígeno atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de hidrógeno	1,78
Radical per hidroxilo	1,70
Dióxido de cloro	1,68
Ácido hipocloroso	1,57
Cloro	1,49
Bromo	1,36
Yodo	1,09

Fuente: (DIAZ SALAZAR, 2010)

Es importante mencionar que el radical $^{\circ}OH$ puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, como por ejemplo ondas de ultrasonido de alta frecuencia, rayos γ o electrones de alta energía, fotocátalisis con Dióxido de Titanio (TiO_2) y luz ultravioleta, la reacción Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}), Foto-Fenton y varias combinaciones de estos procesos.

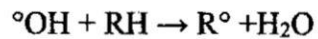
FIGURA 2.2
PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA



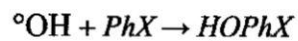
Fuente: (JIMÉNEZ TOTOTZINTLE 2010)

Una vez formados los radicales libres, estos reaccionan con los sustratos orgánicos por medio de las siguientes reacciones.

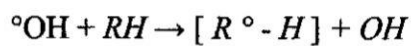
Abstracción de hidrógeno.



Reacciones de adición.



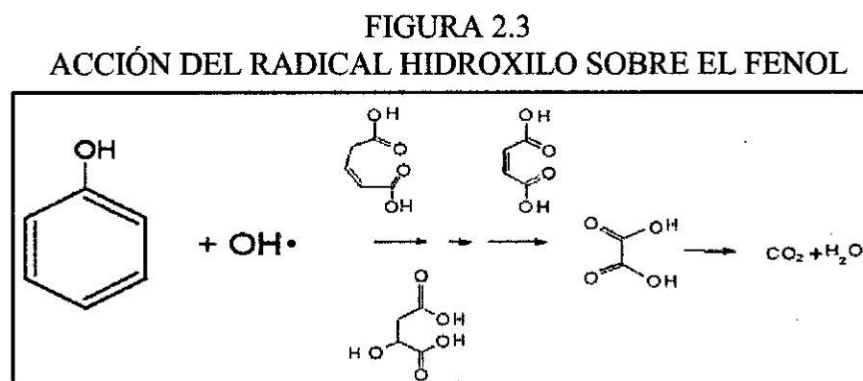
Transferencia electrónica.



Degradación de la materia orgánica por el radical hidroxilo

(MUÑOZ SANTIBAÑEZ, 2011) menciona que el radical hidroxilo es poco selectivo, lo cual resulta conveniente si se desea tratar aguas con múltiples componentes. Estos radicales libres son capaces de convertir por degradación oxidativa los contaminantes presentes en los residuos industriales líquidos (RIL), en sustancias que son inocuas para el medio ambiente.

Dependiendo de la naturaleza de las especies orgánicas son posibles dos tipos de ataque. En el primero la materia orgánica se mineraliza, es decir, se convierte en CO_2 y H_2O , como ocurre con alcanos y alcoholes (esto se expone en la FIGURA 2.3 para el caso de los fenoles) y en el segundo los radicales hidroxilos se adicionan al contaminante, como en el caso de olefinas y compuestos aromáticos.



Fuente: (MUÑOZ SANTIBAÑEZ, 2011)

Tipos de procesos avanzados de oxidación

Según (BLANCO JURADO 2009) existen diferentes alternativas para la formación de estos radicales. Dichos procesos pueden ser fotoquímicos o no fotoquímicos

dependiendo de si se irradia o no la muestra para la obtención del radical $\bullet\text{OH}$. En la tabla (2.2) se indican algunos de los más utilizados actualmente.

TABLA 2.2
TIPOS DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (PAOS)

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino (O_3/OH^+)	Oxidación en agua sub/y supercrítica
Ozonización con peróxido de hidrogeno($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$)	Procesos fotoquímicos
Procesos Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) y relacionados	Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío(UVV)
Oxidación electroquímica	UV/peróxido de hidrogeno
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	UV/ O_3
Plasma no térmico	Foto-Fenton
Descarga electrohidráulica-Ultrasonido	Fotocatálisis Heterogénea

Fuente: (BLANCO JURADO 2009)

FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

Según (MACÍAS CEDEÑO 2015) se entiende como fotocatalisis heterogénea el proceso que implica la utilización conjunta de la luz o radiación ultravioleta y un material sólido inorgánico semiconductor, para promover una transformación química. La radiación incidente que inicia esta secuencia de transformaciones pertenece a una región de longitudes de onda (región visible del espectro o del ultravioleta de bajas energías) que será absorbida preferentemente por el semiconductor (o catalizador), más que por el sustrato de interés. Contrariamente a lo que podría deducirse, la luz o

radiación UV no actúa como catalizador, sino como activador o inductor de la catálisis, consumiéndose en el proceso.

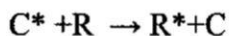
FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA

Además (MACÍAS CEDEÑO 2015) también menciona que, en el proceso de fotocatalisis homogénea interacciona la absorción de la radiación UV y/o la luz visible, con un catalizador y los substratos a degradar, en una disolución acuosa. El proceso foto químico implica la generación de radicales hidroxilos ($^{\circ}\text{OH}$) que inician la oxidación y la degradación de los contaminantes orgánicos.

Proceso Fotofenton

(ACOSTA GARCÍA, 2009) Como ya hemos mencionado antes, se define fotocatalisis homogénea como la reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un catalizador que está disuelto en agua. En este proceso, el catalizador es el ión de hierro, que estará disuelto en el agua. En el caso de los procesos fotocatalíticos en fase homogénea, la interacción de especies capaces de absorber fotones (complejos de metales de transición, colorantes orgánicos, etc.), un substrato o reactivo (ejemplo: el contaminante) y luz pueden también conducir a la modificación química del substrato. La especie capaz de absorber fotones (C) es activada a través de la luz a un estado de excitación (C^*). La interacción posterior con el reactivo (R) lleva a este a un estado excitado (R^*) que acelera el proceso hasta la obtención de los productos finales (P).

REACCIÓN DE OXIDACIÓN DE UN SUSTRATO ORGÁNICO



El reactivo de Fenton consiste en una disolución acuosa de peróxido de hidrógeno e iones ferrosos que proporciona una importante fuente de radicales hidroxilo. Bajo condiciones ácidas (pH 2-4), este radical es un poderoso oxidante de compuestos orgánicos. Por otra parte, las velocidades de degradación de compuestos orgánicos aumentan significativamente al complementar el proceso con radiación UV/Visible, llamándose entonces proceso Foto-Fenton.

En este caso, el proceso se convierte en catalítico ya que el ion ferroso oxidado a ión férrico en la reacción fenton se reduce de nuevo a ión ferroso por acción de la radiación, con lo que se tiene ya un proceso fotocatalítico. Ambas reacciones generan radicales hidroxilos.

PROCESO FENTON



PROCESO FOTOFENTON

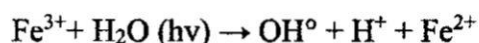
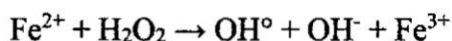
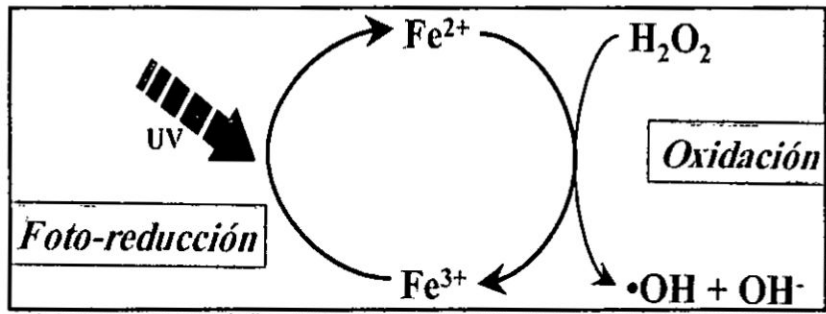
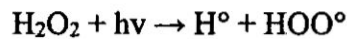
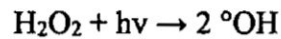


FIGURA 2.4
ESQUEMA DEL CICLO DE LA REACCIÓN FOTOFENTON



Fuente: (ACOSTA GARCÍA, 2009)

El hecho de que esta reacción genera radicales hidroxilos ha sido probado químicamente. Se observó también que el ión férrico acelera la foto-descomposición del peróxido de hidrógeno y que la fotólisis directa de soluciones ácidas de H_2O_2 da radicales $^{\circ}OH$ como foto producto primario junto con pequeñas cantidades de radicales $^{\circ}OOH$.



Cinética de los procesos de Fotodegradación

(SANCHEZ PRADO, 2007) Normalmente, los procesos de Fotodegradación se pueden escribir mediante ecuaciones de primer orden. Las cinéticas de degradación de primer orden se expresan del siguiente modo:

$$\frac{dC_A}{dt} = -k * C_A$$

C_A : Concentración de un compuesto degradado en el tiempo t y k es la constante de velocidad de primer orden.

La integración de la ecuación da lugar a:

$$C_{(t)} = C_0 * e^{-Kt}$$

C_0 : Concentración inicial de un compuesto en $t=0$

La concentración de un compuesto es una función exponencial del tiempo de degradación, el cual se puede expresar también como:

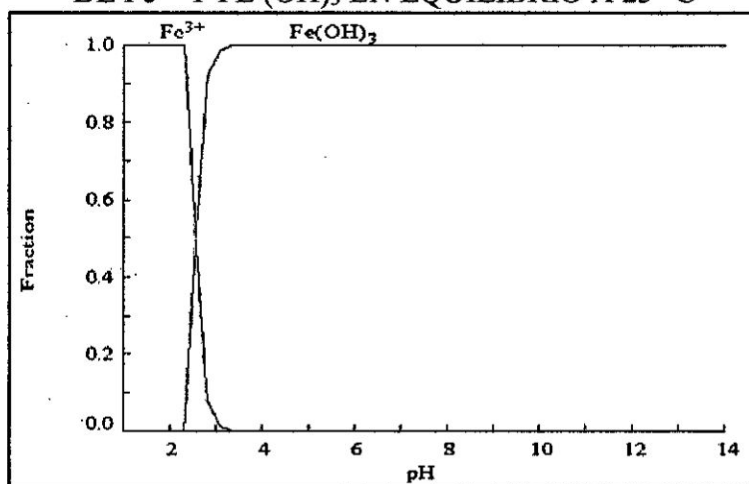
$$\ln C_A = \ln (C_{A0}) - K * t$$

Parámetros que influyen en el proceso

Las condiciones de operación en las que el proceso se lleva a cabo, así como la composición del agua residual, afectan sustancialmente a la eficacia y velocidad del proceso de oxidación. Para (BLANCO JURADO, 2009) los principales parámetros que influyen en el proceso son:

pH: El sistema Fenton, como se ha comentado anteriormente, depende del pH del medio de reacción. La velocidad de las reacciones tiende a ser máxima en un pH cercano a 2,8. El valor óptimo se encuentra entre 2,5 y 2,8, donde el Fe^{3+} existe en solución mayoritariamente como $Fe(OH)^{2+}(H_2O)_5$. A pH altos, la velocidad disminuye debido a la precipitación de hierro en forma de $Fe(OH)_3$.

GRAFICO 2.1
DIAGRAMA DE FRACCIÓN DE LAS ESPECIES
DE Fe^{3+} Y $\text{Fe}(\text{OH})_3$ EN EQUILIBRIO A 25 °C

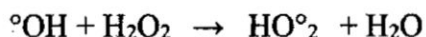


Fuente: (BLANCO JURADO, 2009)

A pH excesivamente bajos ($\text{pH} < 2,0$), y a partir del Fe^{2+} se produce la formación de $\text{Fe}(\text{OOH})^{2+}$ que reacciona muy lentamente con el H_2O_2 obstaculizando la generación de OH. Además, disminuye el coeficiente de absorción de los complejos de hierro. El Fe^{3+} aparece como $\text{Fe}^{3+}(\text{H}_2\text{O})_6$ y es mucho menos efectivo en la absorción de luz y en la producción de OH. Este grupo de reacciones requiere, por tanto, un control riguroso del pH.

Relación $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$: La dosis de H_2O_2 influye fundamentalmente sobre la eficacia del proceso mientras que la concentración de hierro afecta a la cinética. Tanto la eficacia como la velocidad de reacción tienden a aumentar con la concentración de reactivos. Sin embargo, un exceso de hierro da lugar a una disminución de la eficacia debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como es el caso de la formación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que puede precipitar, por lo que se ha de tener en cuenta la K_{ps} de esta especie

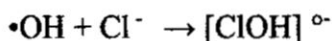
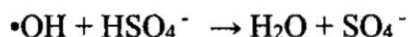
para evitarnos este problema. Por otro lado, un exceso de peróxido daría lugar a la degradación del mismo por los radicales hidroxilos la cual es una reacción no deseada. (BLANCO JURADO, 2009)



Temperatura: La velocidad de oxidación aumenta con el incremento de temperatura. A presión atmosférica, el rango recomendable de operación es entre 25 y 45 °C, ya que, si se sobrepasa los 50 °C, ocurre una descomposición acelerada del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua y la precipitación del hierro en forma de hidróxido debido a que su constante de producto de solubilidad (Kps) disminuye. Operando a presiones de hasta 3 atmósferas se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 100°C sin riesgo de descomposición del peróxido. Este aspecto es muy importante debido a que las industrias textiles tienen una temperatura elevada en su proceso de producción, por lo que no sería necesario aplicar un aporte energético extra.

Concentración de aniones inorgánicos: Ciertos aniones inorgánicos actúan como inhibidores de la acción de los radicales OH o forman especies no reactivas con el hierro. Algunos estudios han mencionado la disminución de la velocidad del proceso debido a la presencia en altas concentraciones de fluoruros y sulfatos (F^- , SO_4^{2-}), ya que reducen la reactividad del Fe^{3+} a través de mecanismos de coordinación y secuestrando radicales hidroxilos; bromuros y cloruros (Br^- , Cl^-), ya que actúan secuestrando los radicales hidroxilos; nitratos (NO_3^-), percloratos (ClO_4^-) e hidrogeno fosfatos (H_2PO_4^-), ya que forman complejos insolubles con el Fe^{3+} .

REACCIÓN DE LOS RADICALES HIDROXILOS CON ANIONES INORGÁNICOS



2.2.4. Fotocatálisis mediante radiación uv-a/c artificial y/o solar

(DIAZ SALAZAR, 2010) indica que la fotocatálisis es una técnica de depuración de aguas residuales tanto de origen doméstico como industrial, consistente en la absorción de luz UV (procedente de lámparas artificiales o del sol) por parte de un catalizador para generar principalmente radicales $^\circ\text{OH}$ que participarán activamente en la degradación de los contaminantes, como se ha descrito anteriormente. Este procedimiento puede llevarse a cabo utilizando fuentes de luz artificial (lámparas UV) o natural, como la radiación solar. Muchas reacciones químicas se llevan a cabo mediante la intervención de la energía. Entre las diferentes formas de energía cabe señalar a la energía térmica y a la energía radiante. De esta última, tiene especial interés la zona del espectro electromagnético que abarca la región visible (400-700 nm) y principalmente la región UV (200-400 nm), zonas de estudio de la fotoquímica.

Cuando se intenta aprovechar la energía procedente del sol es de vital importancia conocer sus características: gran dispersión y por tanto baja densidad y variabilidad en el tiempo. La radiación solar que alcanza la superficie terrestre, sin ser absorbida o desviada, se denomina radiación directa, mientras que la que ha sido desviada, pero también alcanza la superficie, se denomina radiación difusa. La radiación reflejada es

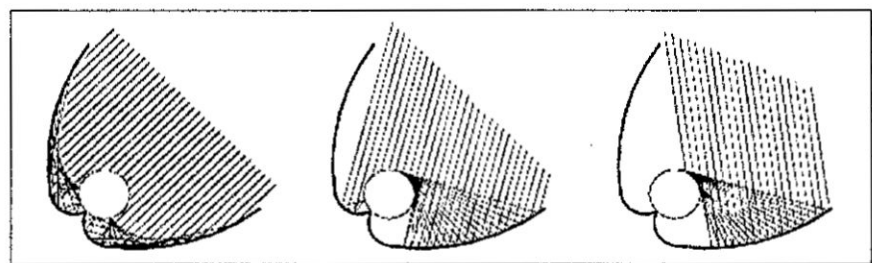
aquella reflejada por el suelo que incide sobre una superficie y la suma de todas ellas se conoce como radiación global. En general, la componente directa de la radiación global en días nublados es mínima y la componente difusa es máxima, produciéndose la situación contraria en días despejados. En el caso de Lima y Callao, la irradiación solar media diaria oscila en un rango comprendido entre 4kWh m^{-2} y los 7.5kWh m^{-2} , un valor muy adecuado para la utilización de tecnologías de captación solar ya sea de forma directa o indirecta. Estos datos se encuentran en el Atlas de la Energía Solar, que fue elaborado durante un tiempo prolongado y publicado en el año 2003 por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Dirección General de Electrificación Rural (DGER-MEM) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Por otro lado; cuando la radiación solar no es suficiente y la degradación del contaminante es lenta por las condiciones atmosféricas desfavorables, se puede usar como alternativa una fuente de luz UV-A/C artificial para llevar a cabo el proceso. Las lámparas de radiación UV se pueden dividir en lámparas de baja, media o alta presión, existen diferencias respecto a la energía y espectro UV entre ellas, lo que supone una diferencia en la eficiencia y aplicaciones para estos tipos de lámparas.

Colectores solares

(JIMÉNEZ TOTOTZINTLE, 2010) Menciona que el CPC es un colector estático con una superficie reflectante enfocada hacia un fotorreactor cilíndrico siguiendo una involuta. Se compone de un reactor tubular que une dos reflectores, éste diseño permite la captación de la radiación solar directa y difusa, lo que favorece la captación de los

rayos solares tanto en días nublados como en días soleados (figura 2.6), los reflectores tienen un factor de concentración igual a 1, este factor depende del ángulo de aceptación medio, del ancho de la abertura del reflector y del radio del tubo absorbedor.

FIGURA 2.5
RADIACIÓN SOLAR REFLEJADA EN UN COLECTOR CPC



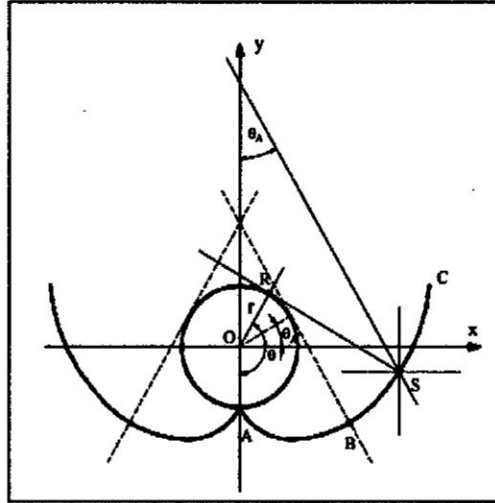
Fuente: (DIAZ SALAZAR, 2010)

Según (BLANCO GALVEZ, 2017), Para un reflector CPC con un reactor tubular se observa que; un punto reflector genérico puede describirse en términos de dos parámetros: el ángulo θ , sostenido por líneas originadas en 0 (centro del tubo reactor) y los puntos A y R, y la distancia ρ , dado por segmento RS, que es tangente al tubo reactor en el punto R:

$$\theta = \overline{OA} \ll \overline{OR}$$

$$\rho = \overline{RS}$$

FIGURA 2.6
CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR
CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO (CPC)



Fuente: (BLANCO GALVEZ, 2017)

Un parámetro importante para la definición de CPC es el ángulo de aceptación $2\theta_a$, que es el rango angular dentro del cual todos los rayos incidentes en el plano de apertura del colector van, bien a incidir directamente sobre el reactor, o bien a ser reflejados sobre él, sin necesidad de mover el conjunto. La solución a la curva del CPC viene dada por dos porciones separadas, una involuta ordinaria para la curva AB y una porción exterior para la curva que va desde B a C:

$\rho = r \theta$ para $|\theta| \leq \theta_a + \pi/2$; parte AB de la curva

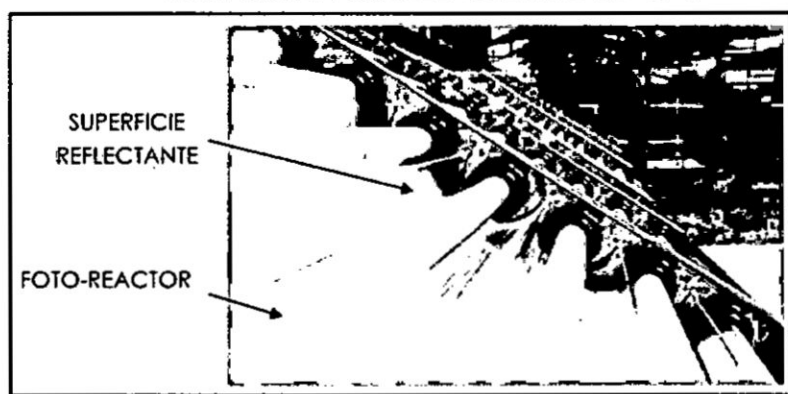
$\rho = r \left[\frac{\theta + \theta_a + \pi - \cos(\theta - \theta_a)}{1 + \sin(\theta + \theta_a)} \right]$; para $\theta_a + \frac{\pi}{2} \leq |\theta| \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_a$; parte BC

El valor de la Razón de Concentración (RC) del CPC está dado por:

$$RC = \frac{1}{\sin\theta_a}$$

En el caso especial de $\theta_a = 90^\circ$, se tiene una $RC = 1$ y los puntos B y C son coincidentes. En este caso $2\theta_a = 180^\circ$, lo que quiere decir que cualquier fotón que llegue al plano de apertura del colector, sea cual sea su dirección, va a poder ser aprovechado en el reactor. Este hecho es especialmente importante ya que permite aprovechar la radiación solar UV difusa. Además, este amplio ángulo de aceptación permite absorber posibles errores de alineación y reflexión del conjunto superficie reflectora-tubo reactor, lo que también es una virtud importante para permitir un bajo coste del fotorreactor. Según (DIAZ SALAZAR, 2010) los dispositivos CPC para aplicaciones fotoquímicas están generalmente fabricados con reflectores de aluminio y la estructura suele estar constituida por un simple marco que, a su vez, sirve de soporte para interconectar los tubos, normalmente de vidrio, que componen el fotorreactor.

FIGURA 2II.6
DISPOSITIVOS DEL COLECTOR CPC

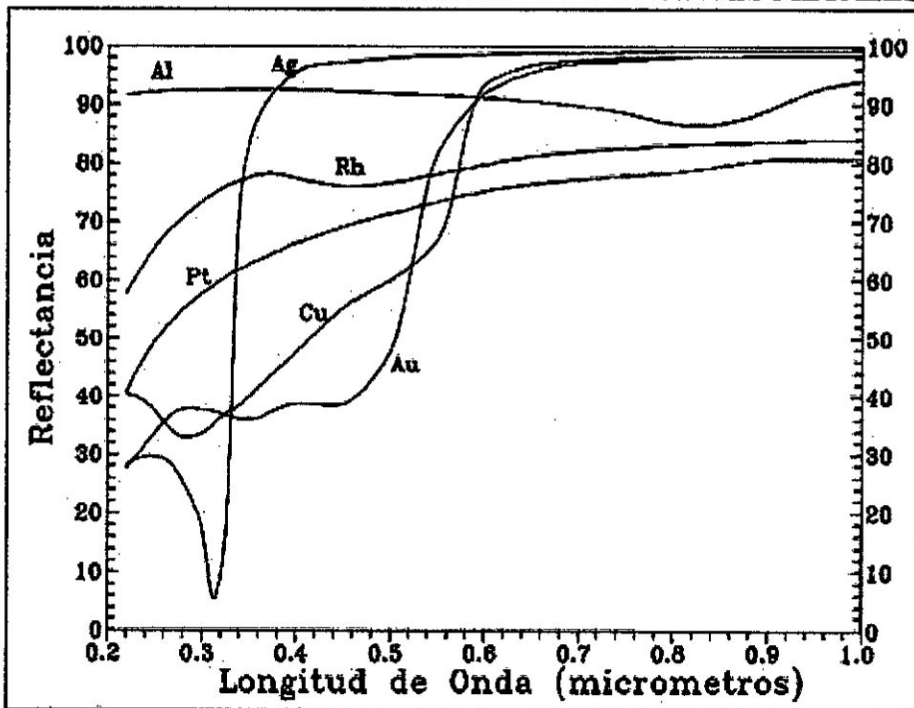


Fuente: (DIAZ SALAZAR, 2010)

Superficie reflectante

Según (BLANCO GALVEZ, 2017) la superficie de aluminio tiene por objeto dirigir y reflejar la luz útil hacia el reactor para conseguir un máximo aprovechamiento de ésta y evitar pérdidas innecesarias, debiendo estar compuesta por un material que sea altamente efectivo para la reflexión de la radiación ultravioleta. Los espejos tradicionales basados en plata tienen una elevada reflectividad (radiación reflejada/radiación incidente) en el visible, pero no así en el intervalo de longitudes de onda entre 300 y 400 nm, siendo la mejor opción en este caso la utilización de espejos a base de aluminio.

GRAFICO 2.2
REFLECTANCIA ESPECTRAL DE DIFERENTES METALES

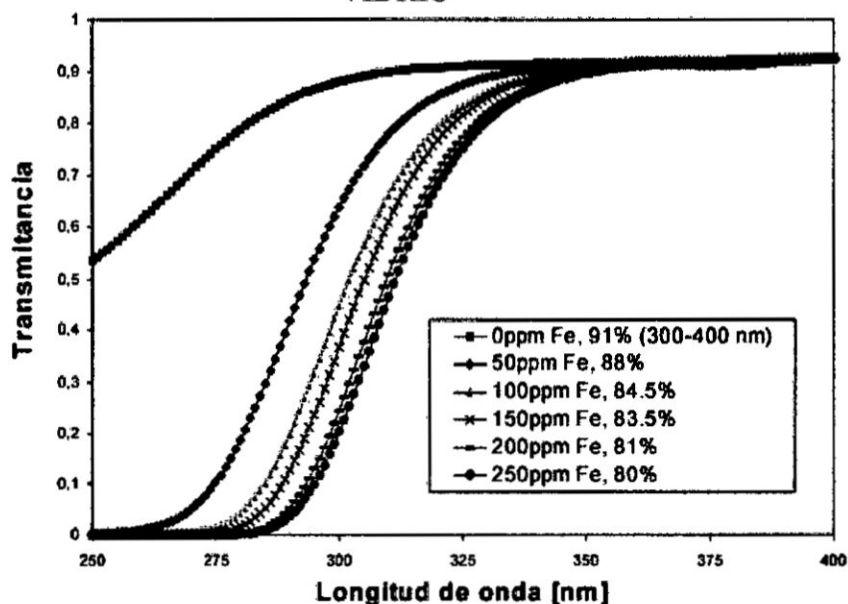


Fuente: (BLANCO GALVEZ, 2017)

Fotorreactor

Con respecto a los materiales válidos como reactores para procesos de fotocatalisis, (BLANCO GALVEZ, 2017) menciona que entre las posibles alternativas se encuentran los fluoropolímeros (inertes químicamente, con buena transmisividad, resistencia y buenos difusores de luz UV), materiales acrílicos y varios tipos de vidrio (bajo contenido en hierro ya que éste absorbe UV).

GRAFICO 2.3
INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN LA
TRANSMITANCIA ESPECTRAL DE UN FOTOREACTOR TUBULAR DE
VIDRIO

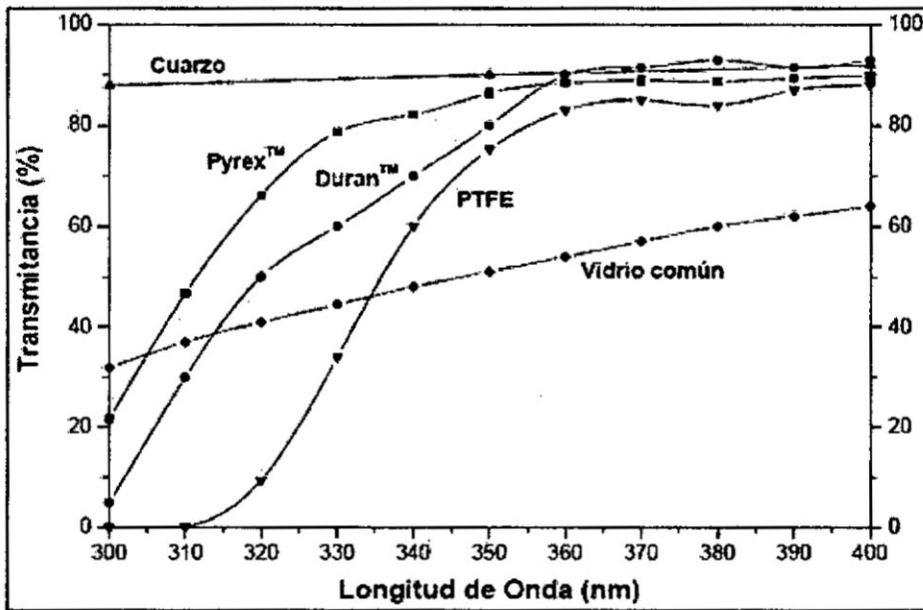


Fuente: (BLANCO GALVEZ, 2017)

El cuarzo es un material excelente pero muy costoso, lo que lo invalida desde un punto de vista práctico. El vidrio es otro material alternativo para fotorreactores. Sin embargo, el vidrio común no es adecuado ya que absorbe parte de la luz UV que llega al

fotorreactor, debido al contenido en hierro. Por ello solo resultan adecuados aquellos vidrios que poseen un bajo contenido en hierro, como es el caso del borosilicato o también conocido comercialmente como Duran o Pyrex.

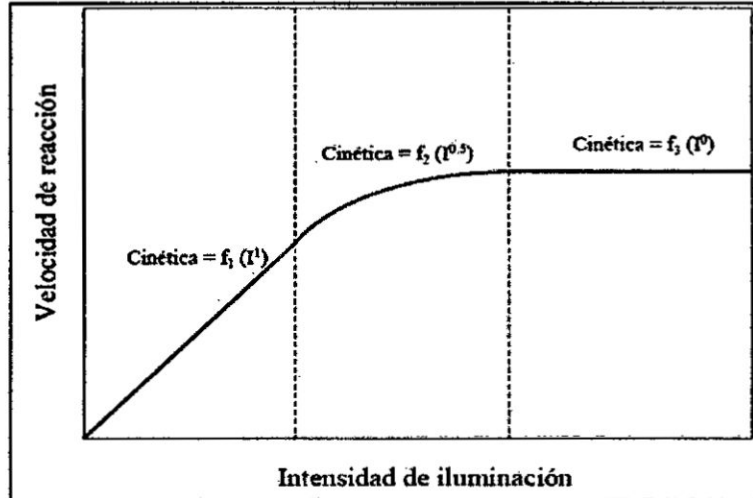
GRAFICO 2.4
TRANSMITANCIA DE DIFERENTES MATERIALES



Fuente: (BLANCO GALVEZ, 2017)

Por otro lado, (DIAZ SALAZAR, 2010) menciona que, es importante resaltar que al tratarse de colectores sin concentración la relación entre la velocidad de la reacción y la intensidad de irradiación incidente en el fotorreactor no varía al aumentar esta última. Adicionalmente, (ACOSTA GARCÍA, 2009) menciona que para realizar los procesos fotocatalíticos se supondrá que se trabajará en la zona donde la intensidad de radiación maximiza la velocidad de reacción. La velocidad de reacción depende directamente de la intensidad de radiación hasta un valor donde la velocidad se mantiene prácticamente constante, tal como se muestra en el GRÁFICO 2.5.

GRAFICO 2.5
VELOCIDAD DE REACCIÓN vs INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN.



Fuente: (DIAZ SALAZAR, 2010)

2.3. Definición de términos

2.3.1. La radiación ultravioleta (UV)

Según (DIAZ SALAZAR, 2010) la radiación ultravioleta es la componente del espectro electromagnético situado entre los rayos X y la luz visible, con una longitud de onda entre 100 y 400 nm. Se divide en cuatro bandas: UV-A (315 –400 nm); UV-B (280 – 315 nm), UV-C (200 – 280 nm) y UV-vacío (40 – 200 nm). Las más utilizadas con fines ambientales son UV-A y UV-C.

2.3.2. Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

Según (BLANCO BRIEVA 2007) el peróxido de hidrógeno se emplea en una gran variedad de tratamientos medioambientales, entre ellos el tratamiento de aguas

residuales, para eliminar una gran variedad de desechos industriales. El peróxido de hidrógeno también se utiliza como fuente de radicales hidroxilos en los llamados Procesos Avanzados de Oxidación. Los radicales hidroxilos son los oxidantes más potentes que existen después del flúor.

2.3.3. Catalizador (Fe^{2+})

Según (ACOSTA GARCÍA, 2009) este metal es un buen agente reductor y, dependiendo de las condiciones, puede oxidarse hasta el estado 2^+ , 3^+ o 6^+ . En la mayor parte de los compuestos de hierro está presente el ion ferroso, hierro 2^+ , o el ion férrico, hierro 3^+ , como una unidad distinta.

2.3.4. Fotodegradación

Según (SANTILLO, 2017) la foto degradación es la transformación fotoquímica de una molécula en otras, usualmente de menor peso molecular. Las transformaciones fotoquímicas son las reacciones químicas causadas por la absorción de radiación ultravioleta (UV), visible (VIS) o infrarroja (IR) y estas transformaciones normalmente son foto adición, fotocicloaddición, foto eliminación, foto isomerización.

2.3.5. Colorantes azoicos

Según (TUESTA1, VIVAS 2 y GUTARRA 2005) la mayoría de los colorantes azoicos son del tipo directo, llamados así por su afinidad por las fibras celulósicas, a las que tiñen directamente. La presencia de uno o más grupos azo en la estructura del colorante

da origen a la coloración. Estos colorantes se usan frecuentemente en la industria textil para el teñido de productos de gran volumen de ventas como son los jeans.

2.3.6. Nomenclatura

- COPs Compuestos Orgánicos Persistentes
- PAOs Procesos Avanzados de Oxidación
- POAs Procesos de Oxidación Avanzada
- Fe^{2+} Ión ferroso (Hierro 2^+)
- Fe^{3+} Ión férrico (Hierro 3^+)
- H_2O_2 Peróxido de hidrógeno
- UV Ultravioleta
- RFTEC Reacor Fotocatalítico Tubular Espiral Concêntrico
- CPC Coletor Cilindro-Parabólico Compuesto
- IIEA Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria.
- FIQ-UNAC Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

VARIABLES INDEPENDIENTES

X_1 = Dosificación de sulfato ferroso heptahidratado al 99,8 % en la muestra experimental.

X_2 = Dosificación de peróxido de hidrógeno al 50% en la muestra experimental.

VARIABLES DEPENDIENTES

Y = % de degradación de los compuestos orgánicos persistentes de la muestra experimental.

3.2. Operacionalización de variables



RELACIÓN DE VARIABLES: $Y = F(X_1, X_2)$

TABLA 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Dimensión	Indicador	Escala
VARIABLES INDEPENDIENTES CUANTITATIVAS			
X_1			
DOSIFICACIÓN DE H_2O_2 EN LA MUESTRA EXPERIMENTAL	Presencia de radicales hidroxilos ($^{\circ}OH$)	de Concentración de H_2O_2 en la solución.	(1.5 – 3.5) mL/L De H_2O_2 al 50%
X_2			
DOSIFICACIÓN DE $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ EN LA MUESTRA EXPERIMENTAL	Presencia de Fe^{2+} y Fe^{3+}	Concentración de Fe^{2+} y Fe^{3+} en la solución.	(300-500) mg/L de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ al 99.5%
VARIABLES DEPENDIENTES CUANTITATIVAS			
Y_1			
PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES EN LA MUESTRA RESIDUAL	Absorción de una solución a una determinada frecuencia de luz.	Concentración de compuestos orgánicos persistentes en una solución.	(0 – 100) % de degradación de compuestos orgánicos persistentes

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

3.3. Hipótesis

Hipótesis general

- El resultado de implementar el Proceso Fotofenton como sistema de tratamiento es la degradación significativa de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC.

Hipótesis específicas

- La dosificación del sulfato de hierro influye significativamente en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC, en un proceso Fotofenton.
- La dosificación de peróxido de hidrógeno influye significativamente en la degradación de los de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC, en un proceso Fotofenton.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo es una investigación de tipo experimental porque permitirá manipular las variables como concentración de reactivos, tales como sulfato ferroso heptahidratado y peróxido de hidrogeno para determinar su efecto en la degradación de COPs de las aguas residuales textiles.

4.2. Diseño de Investigación

4.2.1. Diseño de experimentos

Se realizó un diseño de experimentos en el que se compara la influencia independiente o conjunta de las variables concentración de $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y H_2O_2 . En definitiva, se evaluó la disminución de la concentración del color en solución acuosa con respecto al tiempo mediante la medición de la absorbancia.

Se implementó un diseño experimental factorial 3^2 , cuyas variables o factores de estudio fueron la concentración de $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y concentración de H_2O_2 . Utilizando el diseño Taguchi se obtuvo como resultado 9 corridas experimentales y el tiempo de tratamiento por corrida fue de 1 hora aproximadamente. Inicialmente se llevó a cabo las 9 corridas experimentales por duplicado a nivel laboratorio para encontrar la dosificación óptima. Finalmente se llevó a cabo 3 pruebas experimentales a nivel piloto empleando dicha dosificación óptima.

Número de factores o variables: 2

Número de niveles: 3

A: concentración de $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ [300, 400, 500] mg/L

B: concentración de H_2O_2 . [1,5; 2,5; 3,5] mL/L

TABLA 4.1
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Experimento	C _{muestra} (mg/L)	$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg/L)	H_2O_2 (mL/L)
E1	300	300	1,5
E2	300	300	2,5
E3	300	300	3,5
E4	300	400	1,5
E5	300	400	2,5
E6	300	400	3,5
E7	300	500	1,5
E8	300	500	2,5
E9	300	500	3,5

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

4.3. Población y Muestra

Población

La población de nuestro estudio de investigación, estuvo compuesta por 520 litros de agua residual proveniente de los laboratorios del área textil de la FIQ-UNAC, que fueron recolectados durante el semestre académico regular 2015-B, al cual se le agrego un colorante sintético Rojo FN – R01, como patrón de degradación.

Muestra

Nuestra muestra experimental estuvo compuesta por:

A nivel laboratorio; 500 ml de agua residual textil por corrida experimental, llevándose a cabo 9 corridas.

A nivel piloto; 100 litros de agua residual textil por corrida experimental, llevándose a cabo 3 corridas.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas para la recolección de datos

➤ **Distribución y manejo de la muestra de agua residual textil**

El proceso experimental constó de tres etapas; la primera fue la adición del colorante patrón Rojo FN-R01 y la caracterización del agua residual textil, aquella que fue colocada en un depósito diseñado para realizar un tratamiento primario.

En la segunda etapa se llevó a cabo las corridas experimentales a nivel laboratorio mediante el empleo del equipo reactor fotocatalítico tubular espiral concéntrico (RFTEC), el cual nos permitió obtener los parámetros óptimos del proceso fotofenton. Una vez conocida las condiciones óptimas del proceso fotofenton, dimos inicio a la tercera etapa empleando el equipo colector cilindro-parabólico compuesto (CPC).

Primera etapa: caracterización de la muestra

Se inició añadiendo el colorante patrón al agua residual recolectada y una vez homogénea la solución se procede a la caracterización. El colorante sintético patrón utilizado fue el más comercializado por la industria peruana Química Suiza, colorante sintético Rojo FN-R01. Por tanto, el acondicionamiento de la población consistió en la toma de los 520 litros de agua residual real provenientes de los laboratorios textiles de la FIQ-UNAC y adición a ésta de una cantidad calculada de colorante Rojo FN-R01 para lograr una concentración de 300 mg/L. Éste colorante fue añadido con el fin de evaluar su degradación con el tiempo y esto se hizo midiendo su concentración por absorbancia; en otros términos, éste colorante fue un patrón referencial, que indicó no sólo el porcentaje de su degradación sino la de todos los colorantes presentes en la muestra.

Para llevar a cabo la caracterización del agua residual textil se utilizó 4.5 litros de agua residual textil, aquella que fue analizada por la empresa J. Ramón del Perú S.A.C. cuyos parámetros analizados fueron: pH, Temperatura, Conductividad, oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Dureza Total, Concentración de Fe^{2+} , Concentración de Fe^{3+} , Sólidos Suspendidos Totales y Turbiedad.

Segunda etapa: Nivel Laboratorio

Se realizó 9 corridas experimentales con la finalidad de obtener la dosificación óptima del proceso, para ello se utilizó 500 ml de agua residual textil en cada experimento.

Con la dosis óptima obtenida se realizó nuevamente la prueba a nivel laboratorio, tomando 4.5 litros de agua residual textil con el objeto de llevar a analizar el agua residual tratada para evaluar los resultados obtenidos.

Tercera etapa: Nivel Piloto

En este nivel se empleó la dosificación óptima determinada a nivel laboratorio. Se realizaron tres ensayos experimentales utilizando 100 litros de agua residual textil.

➤ Seguimiento de las absorbancias durante el proceso Fotofenton

Para determinar la dosificación óptima se hizo un seguimiento a los valores de absorbancia que mostraban las alícuotas tomadas durante cada corrida por un periodo de 10 minutos, además de hacer una medición in situ de pH.

➤ Evaluación de la influencia de las variables de diseño

Se evaluó los efectos del catalizador ($\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y agente oxidante (H_2O_2). El resto de parámetros que influyen en el proceso como son: temperatura, flujo de agua, intensidad de radiación, pH y concentración de contaminantes en la muestra no se tomaron en cuenta.

La temperatura, es una variable que apenas tiene influencia en el proceso fotocatalítico. Tanto el flujo de agua como intensidad de radiación se supuso constantes. Por tanto, la concentración de $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y H_2O_2 fueron las variables independientes y el

porcentaje de degradación de los compuestos orgánicos persistentes de la muestra experimental la variable dependiente.

➤ **Optimización de variables**

Luego de llevar a cabo las corridas experimentales a nivel laboratorio se obtuvieron diversos resultados que fueron tratados estadísticamente con el programa Minitab 17, para encontrar los valores óptimos del proceso. Por lo tanto, a partir de la comparación y tratamiento de los distintos resultados, se pudo determinar la dosificación óptima del proceso y la influencia de cada factor en el tratamiento.

4.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Para proceder con la recolección de datos, se utilizó diferentes equipos, materiales y reactivos de laboratorio:

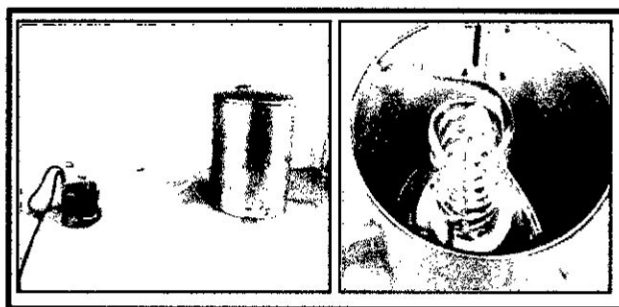
Equipo experimental

Dados los fundamentos de diseño para los procesos de oxidación avanzada, se trabajó con dos equipos fotocatalíticos, los cuales influyeron grandemente en la obtención de altos porcentajes de degradación de contaminantes y por tanto en la obtención de los valores óptimos del proceso. A nivel laboratorio se utilizó el equipo fotocatalítico tubular espiral concéntrico (RFTEC) y a nivel piloto el equipo colector cilindro-parabólico compuesto (CPC).

A nivel laboratorio

En este nivel se montó el ensayo utilizando el RFTEC el cual consta de: una fuente de radiación lámpara UV marca Philips (4w, 254nm), una carcasa cilíndrica de metal, una superficie reflectante de aluminio, un tubo de borosilicato en forma de espiral concéntrica que será la zona de reacción con un volumen de 70 ml aproximadamente, un vaso precipitado de una capacidad de 800 ml y una bomba de agua con un caudal de 0.005 L/s.

FIGURA 4.1
EQUIPO FOTOCATALÍTICO A NIVEL LABORATORIO



Fuente (ELABORACIÓN PROPIA)

A nivel piloto

En este nivel se montó el ensayo utilizando el equipo piloto el cual consiste en: un depósito de 150L de capacidad, una bomba de recirculación centrífuga con un caudal de 0.005 L/s, un colector solar cuya superficie útil es de 1m² y factor de concentración igual a 1, lo que indica, que toda la radiación que incide en los espejos es reflejada sobre la superficie del fotorreactor. El CPC está formado por 4 tubos de borosilicato

con un volumen total de 1,7L, que corresponde a toda la superficie que resulta iluminada para llevar a cabo el proceso fotocatalítico.

FIGURA 4.2
REACTOR FOTOCATALÍTICO A NIVEL PILOTO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Determinación de la concentración de los compuestos orgánicos persistentes en la muestra experimental

El espectrofotómetro UV-Visible Marca Varian, modelo: Cary 50 es un instrumento que se utilizó para llevar a cabo el Análisis de la concentración del colorante Rojo FN-R01 en el rango visible de 400 a 800 nm.

FIGURA 4.3
EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE

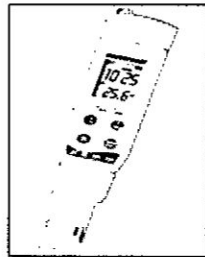


Fuente: ELABORACION PROPIA

Determinación de pH y Conductividad

Para la determinación de aquellos parámetros se utilizó un multiparámetro de la Marca Oakton y Modelo Pctestr 35. Rangos de pH y conductividad de 0.0 a 14.0 pH y 2.00 a 20.00 mS respectivamente. Resolución de pH y conductividad de 0.01 pH y $\pm 1\%$ Escala Completa respectivamente.

FIGURA 4.4
MULTIPARAMETRO DE PH Y CONDUCTIVIDAD

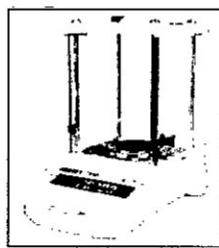


Fuente: ELABORACION PROPIA

Balanza analítica

Se utilizó una balanza Analítica, Marca: ADAM, modelo: NIMBUS. Aquella que sirvió para los pesajes de reactivos. Con una capacidad y resolución de 250g y 0.0001g respectivamente.

FIGURA 4.5
BALANZA ANALÍTICA

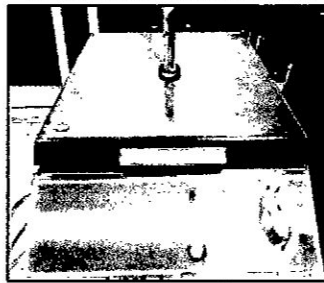


Fuente: ELABORACION PROPIA

Centrifugadora

Se empleó un equipo centrifugado Marca: JANETZKI, Modelo T-30 para centrifugar las muestras antes de ser llevadas a sala de espectro.

FIGURA 4.6
CENTRIFUGADORA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Materiales

- Vasos precipitados de 50,100,250 y 800mL
- Balones aforados de 100 y 250mL
- Probeta de 100 mL
- Papel tissúes
- Papel filtro
- Guantes de goma
- Piceta
- Pipeta
- bureta
- Bombilla
- Bagueta
- Espátula
- Luna de reloj

Reactivos

- Agua destilada
- 63g de colorante Rojo FN-R01
- 318L de muestra experimental
- 200g de Sulfato ferroso heptahidratado al 99,8 % w/w
- 2L de Peróxido de hidrogeno al 50% v/v
- 200mL de ácido sulfúrico 2N
- 1,5L NaOH 6N
- 0,1g de Sulfato Ferroso Amónico Hexahidratado
- 0,1g de O-fenaltrolina
- 2,5g de Clorhidrato de Hidroxilamina
- Indicador fenolftaleína

4.5. Procedimientos de recolección de datos

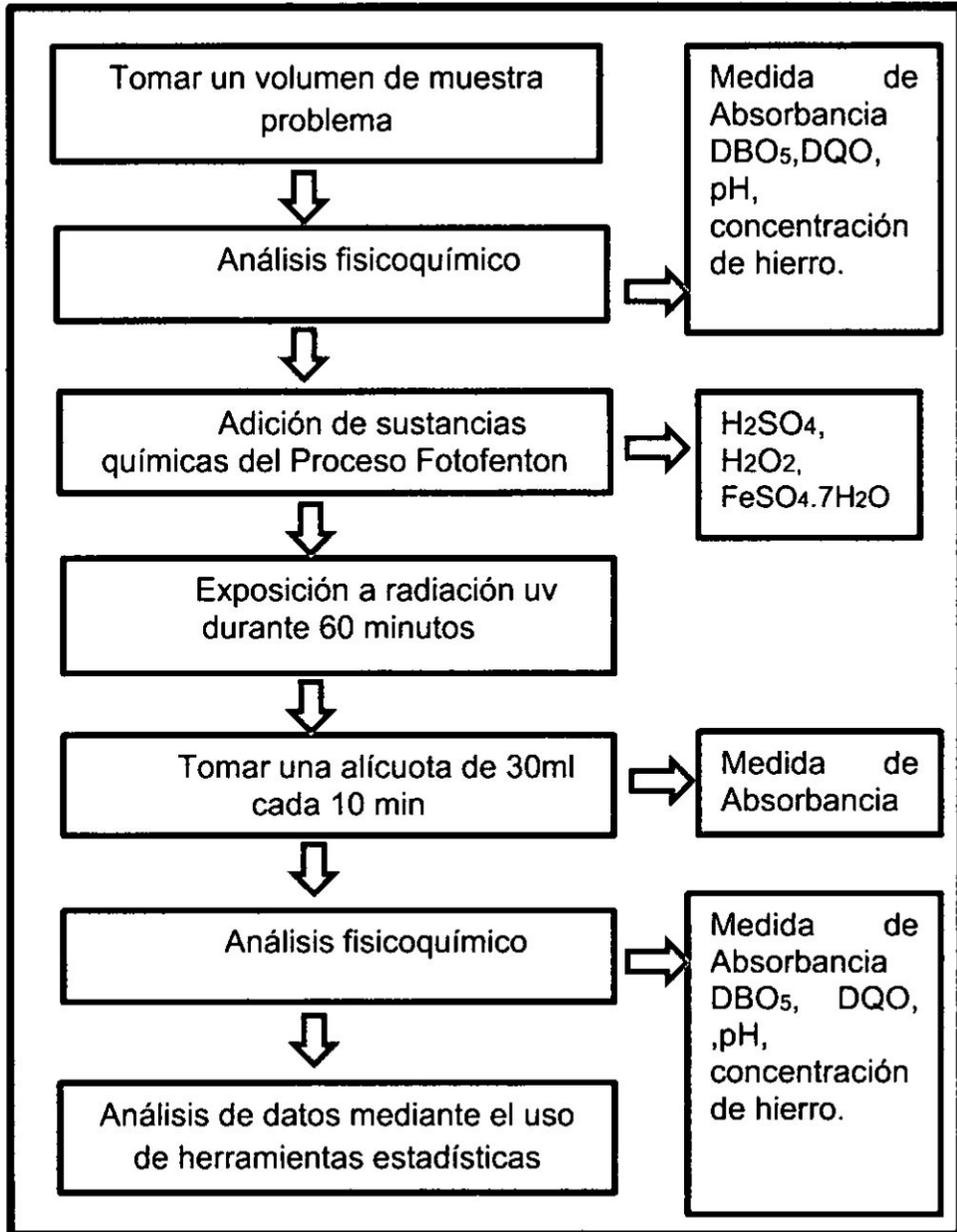
Se utilizaron 500mL de agua residual para cada prueba a nivel laboratorio y 100 litros a nivel piloto, para ambos casos se llevaron a cabo los mismos procedimientos. En primer lugar; el agua residual experimental fue ajustada a un pH igual a 2,8. En segundo lugar; se añadió a la muestra experimental en forma simultánea la cantidad de sulfato de hierro y peróxido de hidrógeno necesario según el diseño experimental planteado. En tercer lugar; se recirculó la solución durante 60min con exposición a radiación uv, dando inicio al proceso Fotofenton. Finalmente; Con el fin de realizar un seguimiento cercano del desarrollo del proceso Fotofenton se tomaron alícuotas cada 10 minutos las

mismas que fueron analizadas en el espectrofotómetro para determinar su porcentaje de degradación.

Luego de las 9 pruebas experimentales a nivel laboratorio, se toma la dosis óptima y se experimenta una vez más para analizar los resultados en un laboratorio acreditado.

Finalmente, con la fiabilidad de los resultados de la dosis óptima se lleva a cabo la experimentación a nivel piloto. .

FIGURA 4.7
FLUJOGRAMA DEL PROCESO EXPERIMENTAL



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Procedimiento experimental

Toma de muestra

Se recolectó las aguas residuales de los laboratorios textiles de la FIQ-UNAC. Se adicionó 156 gramos del colorante sintético patrón Rojo FN-R01 a la población recolectada (520 L) quedando con una concentración de 300mg/L.

FIGURA 4.8
TOMA DE MUESTRA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Preparación y estandarización de NaOH 6N

Se pesó 365 g de NaOH para preparar 1,5 L de solución. La estandarización se hizo por duplicado para el cual se pesó 0,025 g de Biftalato de Potasio por cada valoración.

FIGURA 4.9
PREPARACION Y ESTANDARIZACION DE LA SODA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Preparación de soluciones para la generación de curva de calibración y determinación de Fe^{2+}

➤ Solución de Clorhidrato de hidroxilamina

Se preparó 25mL de Clorhidrato de hidroxilamina con 2,5g de esta sustancia.

➤ Solución de orto fenantrolina

Se preparó 100 mL de orto fenantrolina con 0,1g de esta sustancia.

FIGURA 4.10
SOLUCIONES PARA DETERMINAR HIERRO

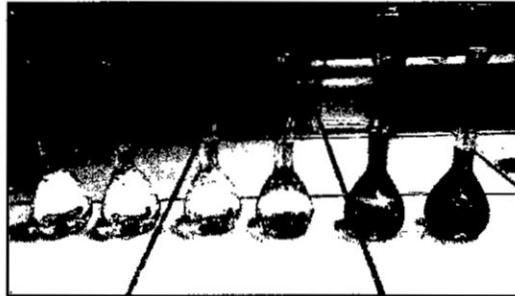


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

➤ Sulfato ferroso amonico hexahidratado (sal de mohr)

Se preparó 100 ml de solución de sal de mohr con una concentración de 700ppm y para ello se pesó 0,07g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

FIGURA 4.11
SOLUCIONES PATRONES DE SAL DE MOHR

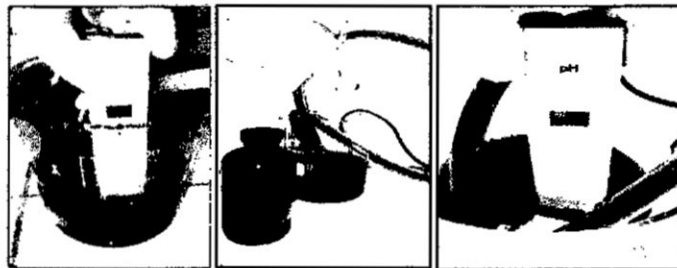


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Acondicionamiento y adición de reactivos del proceso fotofenton

Se tomó una muestra experimental de 500ml a la cual se le midió el pH e inmediatamente se le ajustó a 2,8 con ácido sulfúrico; posteriormente, se añadió la cantidad necesaria de sulfato de hierro heptahidratado y peróxido de hidrogeno según el diseño experimental planteado. Finalmente; se encendió la lámpara uv para dar inicio al proceso fotofenton. Éste proceso fue realizado durante una hora, tiempo en el que el valor del pH fue monitoreado constantemente.

FIGURA 4.12
ACONDICIONAMIENTO DEL PROCESO FOTOFENTON
Medida de pH inicial Acidular la muestra y ajustar a pH= 2,8



Adición de reactivos

Inicio del proceso fotofenton



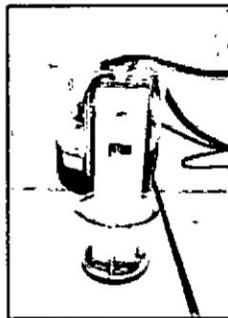
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Toma y tratamiento de alícuotas para medición de la absorbancia

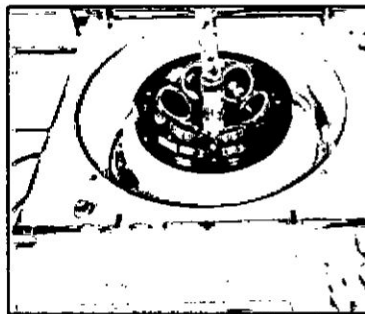
Se tomaron alícuotas de 30mL cada 10 minutos para la medición de absorbancia a las 9 pruebas experimentales. Para la correcta medición se realizaron tres procedimientos importantes: basificado ($\text{pH} = 10-11$) para detener el proceso fotofenton, filtrado (tamaño de poro $= 0,45\mu\text{m}$) y centrifugado ($t=15\text{min}$; $\text{rpm}=2000$) para eliminar las partículas sólidas en suspensión y evitar así las posibles interferencias en la transmisión de la radiación durante la lectura en el espectrofotómetro.

FIGURA 4.13
TRATAMIENTO DE ALICUOTAS PARA MEDIR SUS ABSORBANCIA

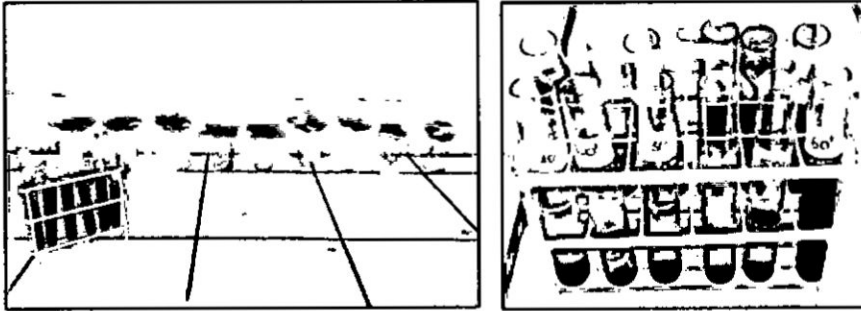
Basificar a $\text{pH}=11$



centrifugado de las alícuotas



filtrado de las alicuotas

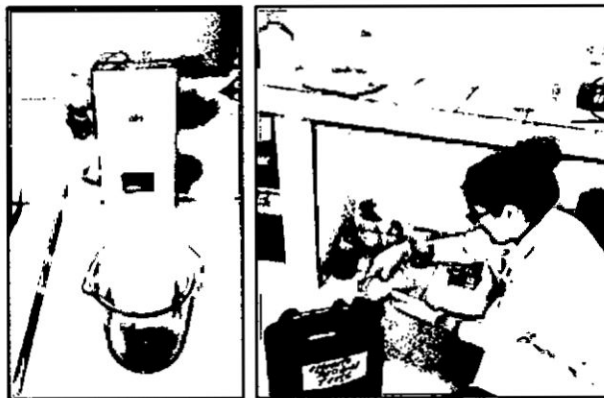


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Neutralización y disposición final del agua tratada

Se adicionó una base a la muestra tratada para neutralizar y precipitar el catalizador metálico añadido, se dejó decantar y filtró el sobrenadante para su posterior tratamiento. Consecuentemente; el agua tratada junto con todos los residuos líquidos generados durante la experimentación fue dispuesta al sistema de alcantarillado.

FIGURA 4.14
DISPOSICION DEL AGUA TRATADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Análisis completo de los parámetros fisicoquímicos de la muestra experimental

Se hizo un análisis completo de los parámetros fisicoquímicos de la muestra antes y después del tratamiento. Inicialmente; se midió in situ el pH, TDS y conductividad. Luego; la concentración de hierro siguiendo el método colorimétrico estandarizado de la orto-fenantrolina. Posteriormente; la absorbancia mediante espectrofotometría y finalmente los análisis de DBO₅ y DQO por un laboratorio de monitoreo ambiental acreditado.

FIGURA 4.15
ANALISIS FISICOQUIMICO DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL

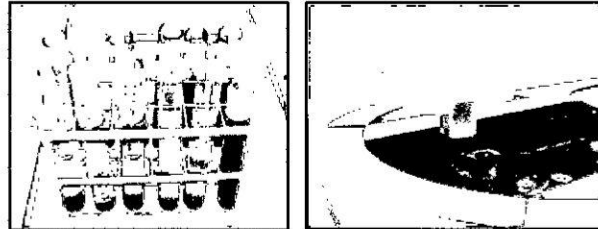
Medición de TDS, pH y conductividad



Determinación del Hierro por el método colorimétrico de la ortofentrolina



Determinación de la concentración de COPs mediante la absorbancia

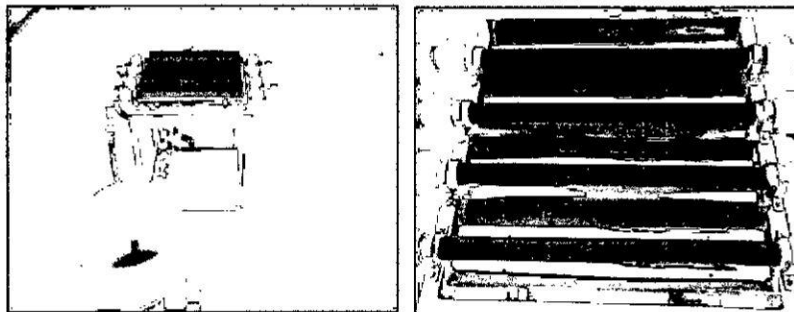


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Prueba experimental a nivel piloto

Se realizaron 3 pruebas experimentales de 100 litros cada una utilizando la dosificación óptima. Finalmente; Todos los datos se recolectaron para su respectivo análisis mediante el uso de herramientas estadísticas (programa Minitab).

FIGURA 4.16
PRUEBA EXPERIMENTAL A NIVEL PILOTO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

Luego de realizar los ensayos experimentales y análisis en laboratorio, se obtuvo un número importante de datos y vectores de respuesta. Para el procesamiento de la información de estos datos se empleó el programa MINITAB 17, el cual nos ayudó a

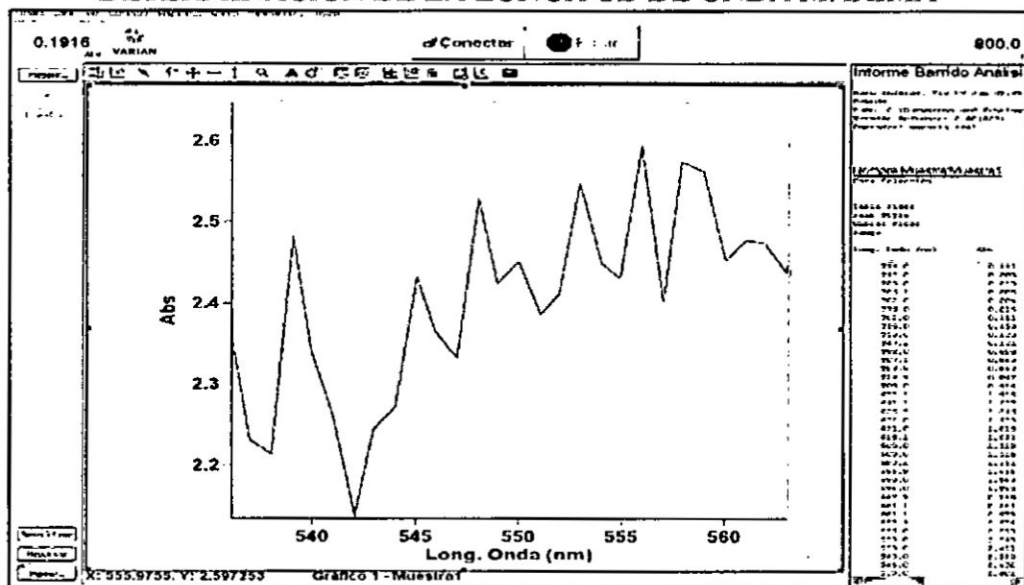
identificar si los resultados obtenidos cumplen con los objetivos e hipótesis planteada.
Se analizó un modelo de regresión lineal múltiple de un análisis factorial 3^2 para optimizar las variables respuesta.

V. RESULTADOS

Para la determinación de la longitud de onda máxima del colorante sintético FN-R01, se realizó un barrido espectral de una solución diluida que contenía dicho colorante.

Longitud de onda máxima 557,9

GRAFICO 5.1
DETERMINACION DE LA LONGITUD DE ONDA MAXIMA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

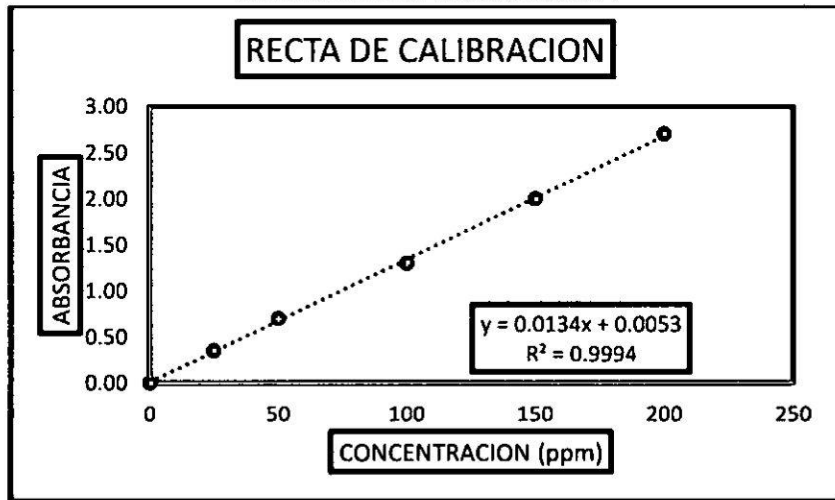
Para la generación de la recta de calibración del colorante sintético rojo FN-R01, se tomaron lecturas a los patrones previamente preparados. El número de patrones fueron 6 incluyendo el blanco.

GRAFICO 5.2
CONCENTRACION VS ABSORBANCIA

Concentración (ppm)	Absorbancia
0	0,00
25	0,35
50	0,70
100	1,30
150	2,00
200	2,70

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.3
RECTA DE CALIBRACION



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Generada la recta de calibración en el espectrofotómetro, se procedió a medir las absorbancias de las 9 corridas experimentales

TABLA 5.1
 ABSORBANCIAS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

tiempo	Abs 1	Abs 2	Abs 3	Abs 4	Abs 5	Abs 6	Abs 7	Abs 8	Abs 9
0	300.05	300.08	299.97	300	299.9	299.88	300.03	300	300.01
10	147.38	146.2	111.2	137.9	127.6	149.8	142.2	139.3	145.5
20	147	146.1	136.5	121.6	116.4	132.5	127.4	127.8	115.1
30	146.2	145.8	123.8	112.8	112.2	97.8	118.1	121	90.52
40	145.5	144	96.6	110.15	108.4	83.4	113	117.4	83.49
50	144.62	134.1	90.5	106.4	102.9	64.31	113.4	105.7	75.27
60	144.02	104.73	88.79	105.39	78.96	53.98	99.40	86.30	63.00
%Deg	52	65.1	70.4	64.87	73.67	82	66.87	71.23	79

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez calculado los porcentajes de degradación (%Deg) de cada corrida experimental se procedió con los análisis estadísticos en el programa Minitab 17 utilizando el diseño Taguchi. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple de los porcentajes de degradación el cual mostró el coeficiente de correlación (R^2) y los valores de los coeficientes para cada variable.

Diseño Taguchi

Creación del diseño Taguchi ortogonal

L9 (3^2)

Niveles: 3 (-1; 0; 1)

Factores: 2

Corridas: 9

TABLA 5.2
ANALISIS DE DATOS CON MINITAB

Análisis de varianza para el %Deg versus hierro; peróxido

Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regresion	2	524.61	262.30	16.22	0.004
Hierro	1	146.03	146.03	9.03	0.024
Peróxido	1	378.58	378.58	23.41	0.003
Error	6	97.04	16.17		
Total	8	621.64			

Resumen del modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.02151	84.39%	79.19%	64.14%

Coefficientes

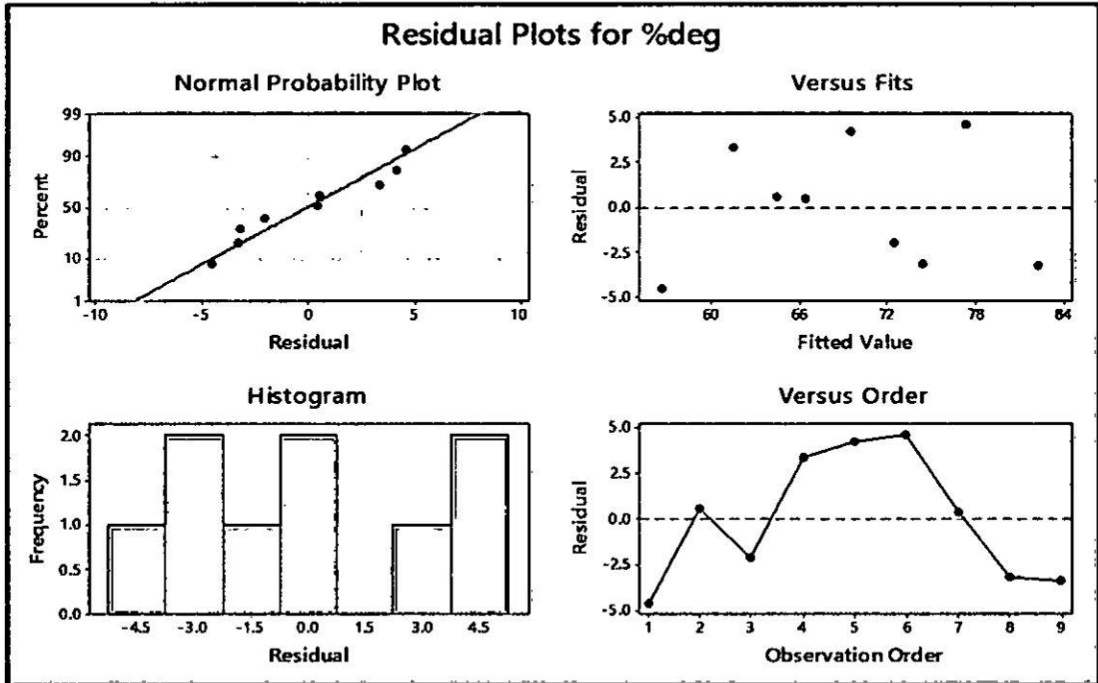
Término	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constante	29.87	7.86	3.80	0.009	
Hierro	0.0493	0.0164	3.00	0.024	1.00
Peróxido	7.94	1.64	4.84	0.003	1.00

Ecuación de regresión múltiple %Degr Vs Hierro; Peroxido

$$\%Deg = 29.87 + 0.0493 \text{ HIERRO} + 7.94 \text{ PEROXIDO}$$

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.4
GRAFICA DE RESIDUALES PARA %DEG



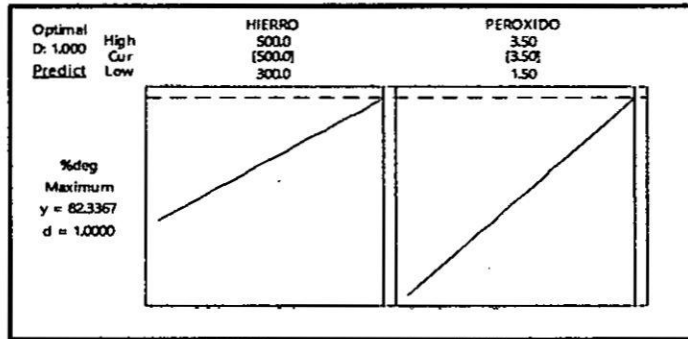
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.3
OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA DEL %DEGRADACIÓN

<u>Parametros</u>					
Respuesta	meta	inferior	objetivo	alto	peso Importancia
%deg	Maximum	52	82	1	1
<u>Solucion</u>					
Solution	hierro peroxido		%Deg	Composite	95% CI
1	500 3.5	82.3367	1	(75.78; 88.90)	

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.4
GRÁFICA DE OPTIMIZACION



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

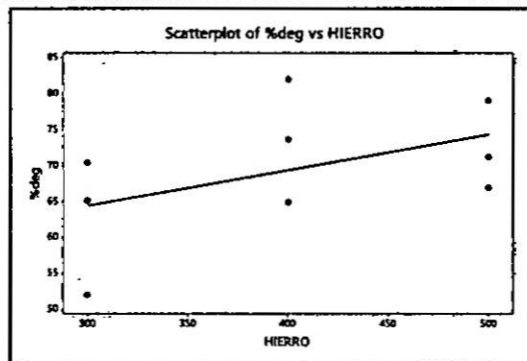
TABLA 5.4
DATOS DE CORRELACIÓN: HIERRO; PEROXIDO; %DEGRADACION

	Hierro	Peroxido
Peroxido	0.000	
	1.000	
%Deg (serie2)	0.485	0.780
	0.186	0.013

Cell Contents: Pearson correlation P-Value

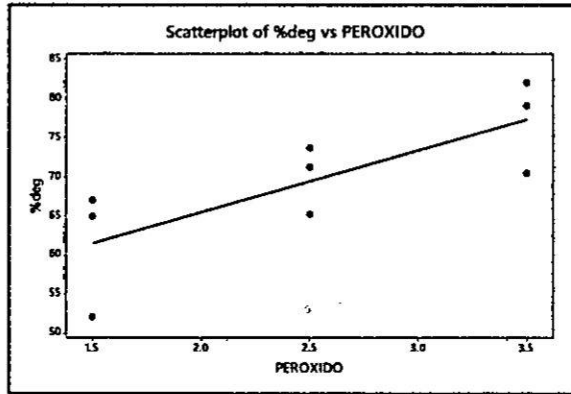
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.6
GRAFICAS DE DISPERSION % DEGR VS HIERRO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.7
 GRAFICAS DE DISPERSION % DEGR VS PEROXIDO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Análisis Taguchi: %Deg versus hierro; peroxido

TABLA 5.5
 TABLA DE RESPUESTA PARA LAS RELACIONES SEÑAL / RUIDO

	Level hierro peroxido	
1	-35.85	-35.69
2	-37.29	-36.89
3	-37.17	-37.73
Delta	1.44	2.04
Rank	2	1

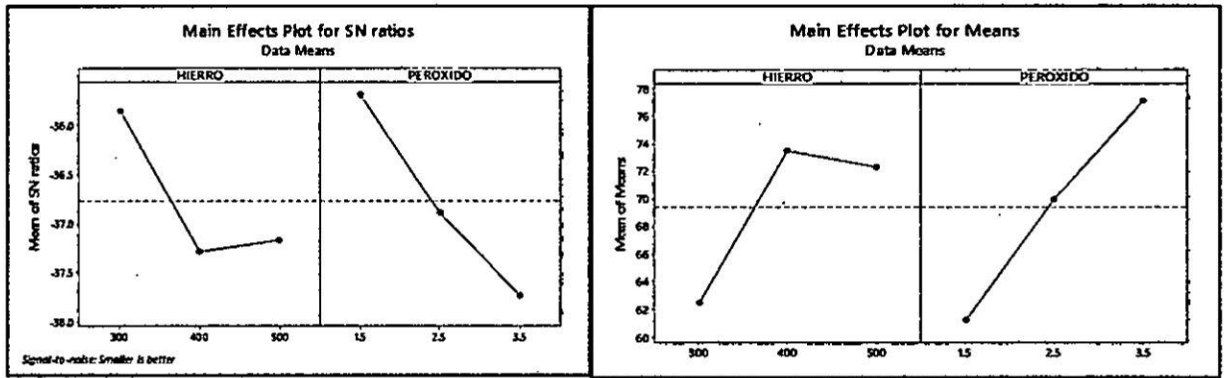
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.6
TABLA DE RESPUESTAS PARA LOS MEDIOS

Level	hierro	peróxido
1	62.50	61.25
2	73.51	70.00
3	72.37	77.13
Delta	11.01	15.89
Rank	2	1

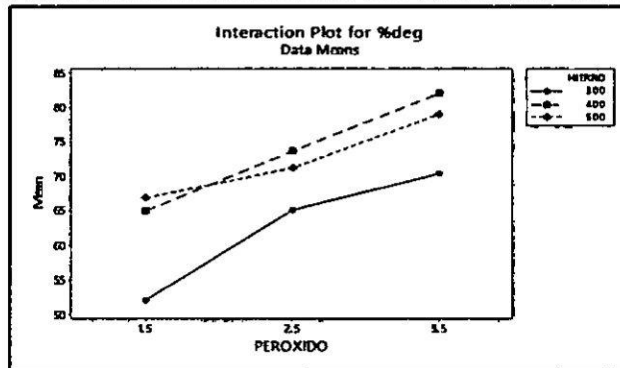
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.8
GRAFICA PARA LAS RELACIONES SEÑAL / RUIDO Y LOS MEDIO



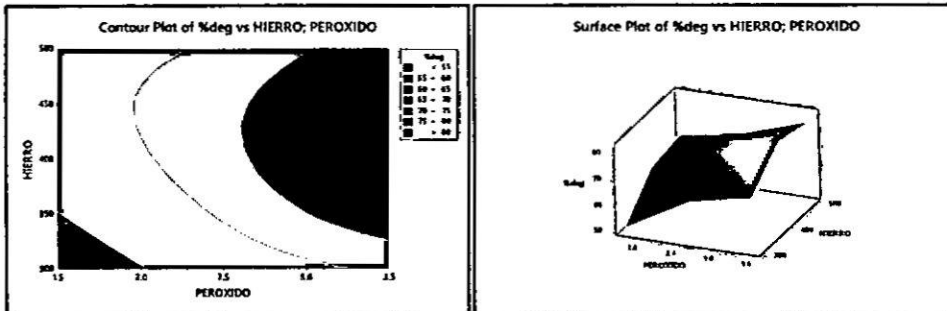
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.9
GRAFICO DE INTERACCION DE %DEGRA VS PROMEDIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.10
GRÁFICA DE CONTORNO Y SUPERFICIE
%DEG VS HIERRO; PEROXIDO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Determinación de la constante de velocidad

Según estudios anteriores la Fotodegradación desarrolla una cinética de primer orden. Por tanto; la gráfica $\ln(C_A/C_0)$ versus tiempo de tratamiento indica la velocidad de reacción en la degradación. Para el caso de los experimentos de foto-fenton, se asume que la reacción determinante en este proceso es la reacción de los radicales hidroxilos $^{\circ}\text{OH}$ con el contaminante. La velocidad de reacción se describe entonces mediante las ecuaciones siguientes: Aplicando el método integral:

$$-\frac{dCA}{dt} = kCA$$

$$\int \frac{dCA}{CA} = -\int K * dt$$

$$\ln\left(\frac{CA}{C_0}\right) = -K * t$$

$$CA = C_0 * e^{-k*t}$$

$$K = -\frac{\ln\left(\frac{CA}{C_0}\right)}{t}$$

Reemplazando los datos experimentales tenemos:

TABLA 5.7
VALORES DE LA CONSTANTE CINÉTICA DE REACCIÓN "K"

<i>tiempo</i>	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
10	0.07	0.07	0.10	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07
20	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
30	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02
40	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
50	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01
60	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se realizó una prueba experimental utilizando la dosificación óptima obtenida según el análisis estadístico. En esta prueba se obtuvo las concentraciones y porcentajes de degradación de 7 alícuotas de la muestra experimental tomadas cada 10 minutos.

TABLA 5.8
CONDICIONES DEL INSTRUMENTO

Instrumento	Cary 50
Nº Versión Instrumento	3.00
Long. Onda (nm)	557.9
Modo Ordenadas	Abs
T. Med. (sec)	0.1000
Replicados	3
Media Patrón/Muestra	Apag.
Correcciones de peso y volumen	Apag.
Tipo Ajuste	Lineal
Mín R ²	0.95000
Unidades Concentración	mg/L
Cambiador Celdas	Encen.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.9
CONCENTRACION DE LAS ALICUOTAS DE LA PRUEBA OPTIMIZADA

Muestra	Concentración	F	Media	SD	%RSD
Lecturas	mg/L				
Alicuota 1					2.6158 2.6136
	300.02	2.5927	0.0381	1.47	2.5487
Alicuota 2					1.1137 1.1143
	145.8	1.1128	0.0022	0.20	1.1102
Alicuota 3					1.1125 1.1126
	107.2	1.1125	0.0002	0.01	1.1123
Alicuota 4					1.1533 1.1569
	92.83	1.1554	0.0019	0.16	1.1560
Alicuota 5					0.9682 0.9686
	76.4	0.9686	0.0004	0.04	0.9689
Alicuota 6					1.2626 1.2657
	72.29	1.2627	0.0030	0.23	1.2598
Alicuota 7					0.7926 0.7942
	55.21	0.7934	0.0008	0.10	0.7936

Leyenda Marcas Resultados

U = Sin calibrar

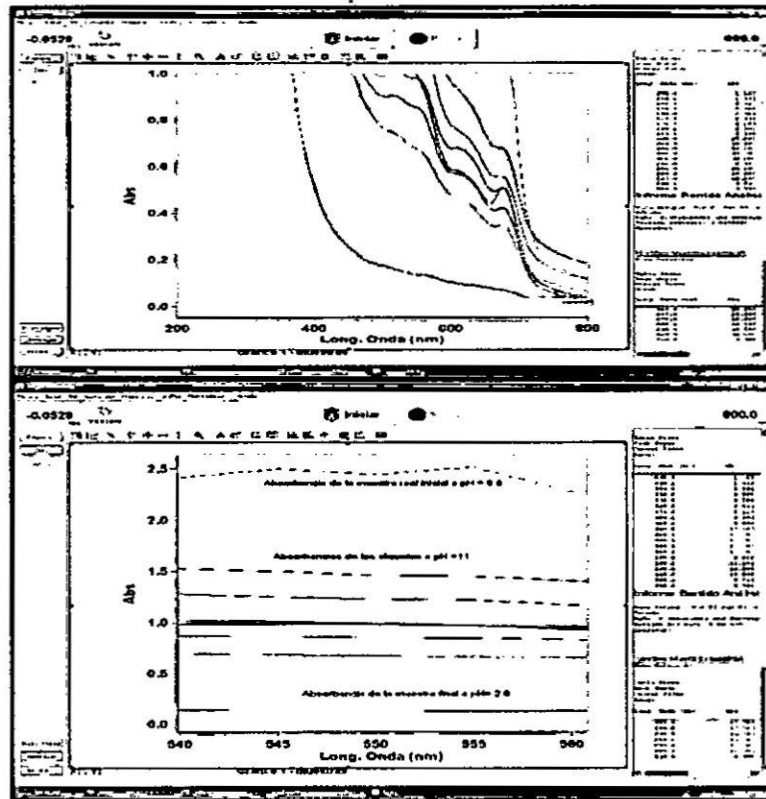
O = Fuera de rango

N = No usado en calibración R = Lectura repetida

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

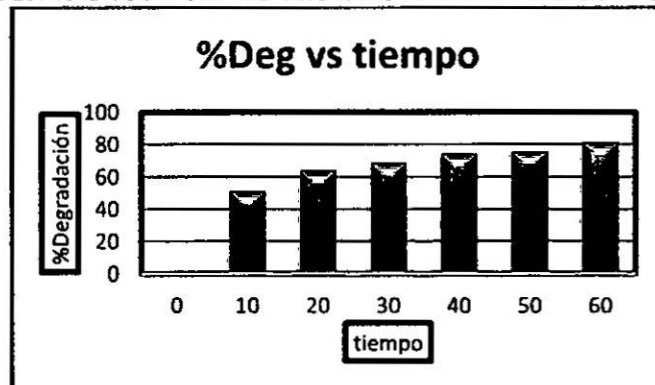
Se realizó un barrido espectral de las alícuotas a lo largo del tiempo

GRAFICO 5.11
GRÁFICAS DE ABSORBANCIA VS LONGITUD DE ONDA



Fuente :ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.12
GRAFICA DE %DEGR VS TIEMPO DE LA PRUEBA ÓPTIMA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.10
DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE HIERRO EN LA PRUEBA
ÓPTIMA

Condiciones del Instrumento

Instrumento	Cary 50
Nº Versión Instrumento.	3.00
Long. Onda (nm)	510.0
Modo Ordenadas	Abs
T. Med. (sec)	0.1000
Replicados	3
Media Patrón/Muestra	Apag.
Correcciones de peso y volumen	Apag.
Tipo Ajuste	Lineal
Mín R ²	0.95000
Unidades Concentración	0

Informe Cero

Leer	Abs	nm
Cero	(0.2200)	500.0

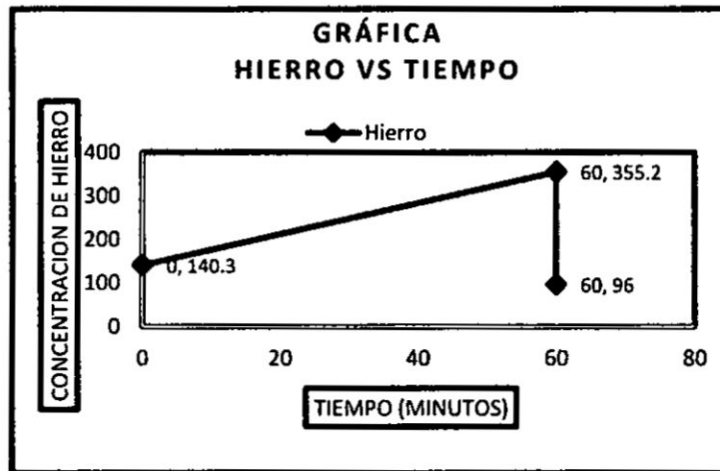
Análisis

Muestra	Concentración	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
	0					
Muestra1						1.3755 1.3760
	140.3	O	1.3743	0.0026	0.19	1.3712
Muestra2						3.1771 3.3840
	355.2	O	3.4839	0.3671	10.5	3.8906
Muestra3						0.9398 0.9371
	96.0		0.9387	0.0014	0.15	0.9390

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Comportamiento del hierro a lo largo del tiempo hasta su neutralización.

GRAFICO 5.13
GRAFICO DE HIERRO VS TIEMPO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se recolectaron los datos de las características fisicoquímicas de la muestra experimental antes y después del tratamiento.

TABLA 5.11
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL DE LA EXPERIENCIA CON DATOS OPTIMOS A NIVEL LABORATORIO

500 mL de muestra	pH	Conductividad (us/cm)	TDS (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	DQO (ppm)	DBO ₅ (ppm)	Concentración de COPs (ppm)
Antes	8.5	1750	3220	140.3	2777	1017	300.02
Después	2.8	1780	4390	355.2	52	18	55.21

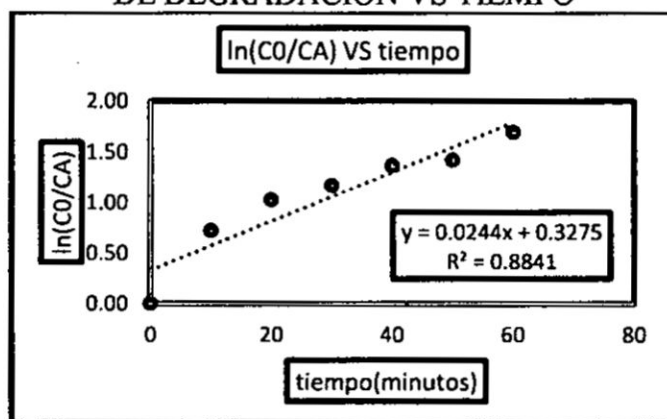
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.12
CONSTANTE DE LA VELOCIDAD CINÉTICA PARA LA PRUEBA
EXPERIMENTAL OPTIMIZADA A NIVEL LABORATORIO

Condiciones óptimas		Tiempo(min)	C_A	K
Fe	500 mg/L	0	300.02	
H ₂ O ₂	3.5 mL/L	10	145.8	0.072
		20	107.2	0.030
Tiempo	60 min	30	92.83	0.014
		40	76.4	0.019
Degradación de	81.5 %	50	72.29	0.018
COPs		60	55.21	0.014

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO 5.14
COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD
DE DEGRADACION VS TIEMPO



Constante de velocidad cinética = $0.0244 \text{ Lmol}^{-1}\text{S}^{-1}$

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.13
 PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN PARA
 LA PRUEBA EXPERIMENTAL OPTIMIZADA A NIVEL PILOTO

Condiciones óptimas:

Fe	500 mg/L
H ₂ O ₂	3.5 mL/L
Tiempo	60 min
Degradación de COPs	85 %

Concentracion inicial(mg/L)	Concentracion final(mg/L)	% Degradación	Promedio de % de Degradación
300	46.2	84.6	85 %
	45.3	84.9	
	44.8	85.066	

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de esta investigación comprueban las hipótesis propuestas. Se afirma que el proceso fotofenton degrada a los compuestos orgánicos persistentes (COPs) de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC. Así como también se aprueban las hipótesis específicas de que tanto las dosificaciones de hierro y peróxido influyen significativamente sobre la degradación de los COPs. Para la evaluación estadística de estos resultados se usó la prueba de probabilidades (p-Value), donde la hipótesis nula se rechaza si el valor p es igual o menor que el nivel de significancia establecido; en nuestro caso se trabajó con un nivel de significancia de 0.05.

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

Contrastación de hipótesis general

H_0 : El proceso fotofenton no degrada a los COPs de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC. $H_0 = 0$

H_a : El proceso fotofenton degrada a los COPs de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC. $H_a \neq 0$

Luego de aplicar el método de tratamiento por hora, los valores de p para los términos implicados fueron menor al nivel de significancia planteado. Por lo tanto; se rechaza a la hipótesis nula y se afirma que el proceso fotofenton degrada grandemente a los COPs.

Contrastación de hipótesis específicas

- Influencia de la dosificación de sulfato de hierro

H_0 : La dosificación de sulfatos de hierro no influye en la degradación de los COPs de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC. $H_0 = 0$

H_a : La dosificación de sulfatos de hierro influye significativamente en la degradación de los COPs de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC. $H_a \neq 0$

El término dosificación de hierro presenta un valor p de 0,024. Debido a que 0.024 es menor que 0.05, se rechaza H_0 y se aprueba que existe una influencia significativa por parte del sulfato de hierro en la degradación de COPs.

- Influencia de la dosificación de peróxido de hidrógeno

H_0 : La dosificación de peróxido de hidrógeno no influye en la degradación de los COPs de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC. $H_0 = 0$

H_a : La dosificación de peróxido de hidrógeno influye significativamente en la degradación de los COPs de efluentes textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC.
 $H_a \neq 0$

El término dosificación de peróxido de hidrógeno presenta un valor p de 0,003. Debido a que 0,003 es menor que 0,05, se rechaza H_0 y se aprueba que existe una influencia significativa por parte del peróxido de hidrógeno en la degradación de COPs. Además de contrastar las hipótesis con los valores de p, se obtuvieron otros datos estadísticos que respaldan a la hipótesis aceptada.

Por un lado; se obtuvieron gráficos de residuales de los porcentajes de degradación donde muestran que los resultados están distribuidos normalmente. En primer lugar; la

gráfica de probabilidad normal muestra que los residuos siguen aproximadamente una línea recta, lo que indica que los residuos están distribuidos normalmente. En segundo lugar; el histograma de residuos muestra un valor atípico por encontrarse algo alejado de las otras barras. Sin embargo; cabe recalcar que un histograma es más efectivo cuando tiene 20 o más puntos de datos. Si la muestra es demasiado pequeña, entonces cada barra en el histograma no contiene suficientes puntos de datos para de manera fiable mostrar asimetría o puntos atípicos. En tercer lugar; la gráfica de residuos vs ajustes muestra que la varianza de los residuos es constante, es decir, a medida que el valor de los ajustes aumenta, la dispersión entre los residuos no se amplía. Este patrón indica que no existen valores atípicos que podrían ser resultados de algún error de medición o error de ingreso de datos. En cuarto lugar; la gráfica de residuos vs orden muestra que los residuos se encuentran distribuidos cronológicamente y en orden aleatorio alrededor de la línea central, es decir, sin seguir un patrón específico. Por ello; se concluye que los residuos son independientes entre sí.

En resumen; estos cuatro gráficos presentan un patrón aceptable, por lo que, aseguramos que los intervalos de confianza para las predicciones, los coeficientes y los valores p son exactos. Adicionalmente; el programa Minitab generó una ecuación de regresión lineal múltiple del porcentaje de degradación vs hierro, peróxido utilizando el diseño Taguchi el cual mostró un buen ajuste al modelo indicado siendo el coeficiente de correlación igual a 0.84.

Por otro lado; se obtiene tres resultados muy importantes acerca de la optimización de resultados, correlación de las variables y zonas con mayor porcentaje de degradación

en graficas de contorno. Primero; optimizando los resultados se obtiene que la degradación máxima de COPs es de 82.3367% utilizando 500 mg/L sulfato de hierro heptahidratado y 3,5 mL/L de peróxido de hidrógeno con un nivel de confianza del 95%. Segundo; existe una mayor dependencia mutua entre el porcentaje de degradación y la dosificación de peróxido de hidrogeno, esto se evidencia en los datos de correlación, gráficos de dispersión y las tablas de respuesta para los medios y relaciones señal/ruido. Asimismo; en la gráfica de interacción para los medios del porcentaje de degradación se observa una mayor interacción en la prueba experimental con 3,5 mL/L de peróxido de hidrogeno y 400 mg/L de sulfato de hierro heptahidratado. Tercero; las gráficas de contorno y superficie muestran un porcentaje de degradación mayor a 80% en los rangos de 3,2 a 3,5 mL/L de peróxido de hidrógeno y de 380 a 490 mg/L de sulfato de hierro heptahidratado.

Finalmente; los resultados del porcentaje de degradación se ajustaron a una ecuación de primer orden, observándose que los valores de las velocidades de reacción cinética disminuían conforme pasaba el tiempo, esto podría deberse a que las reacciones de foto degradación van reduciéndose a medida que los reactivos principales (sulfato de hierro y peróxido de hidrógeno) se consumen. Además; se realizaron pruebas experimentales para evaluar la confiabilidad de los datos predecidos por el programa Minitab. Estas pruebas arrojaron datos esperados que comprobaron la valides de los resultados obteniéndose así un 81.5% y 85% de degradación de COPs a nivel laboratorio y piloto respectivamente. La diferencia de estos porcentajes podría deberse a que existiría una mayor incidencia de radiación solar uv sobre los reactores del equipo CPC a escala

piloto, elemento influyente en los procesos fotocatalíticos pero que en esta investigación fue considerada como factor constante. Por último; se midieron las características fisicoquímicas de la prueba experimental optimizada antes y después del tratamiento observándose resultados esperados y concluyendo así satisfactoriamente con el propósito de esta investigación.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

(CHACÓN CASTILLO, 2014), (GARCÉS GIRALDO, 2008) y (LEÓNIDAS PEREZ, 2017) trataron un tipo de compuesto orgánico y en algunos casos usaron prepararon sus muestras imitando así a una muestra real, por lo que su fotodegradación podría ser menos compleja por tratarse de un mínimo número de compuestos a degradar. Este concepto podría explicar los altos porcentajes de degradación de COPs (90 - 97%) que estos autores obtuvieron en sus investigaciones. A diferencia de los resultados de estos tres autores; en nuestra investigación se trata una muestra real proveniente de efluentes residuales de laboratorios textiles por lo que su porcentaje máximo de degradación de COPs es 85%. Un caso similar desarrolló (SILVA A, 2016) el autor obtuvo un 80 % de mineralización tratando un efluente real que contenía residuos líquidos orgánicos solubles y medianamente solubles generados en el centro de laboratorios de la Universidad de Medellín. Al igual que los resultados de (SILVA A, 2016), nuestra muestra no alcanzan altos porcentajes de degradación por tratarse de muestras reales que provienen directamente de los laboratorios de ensayo en donde se encuentran una

gama de compuestos con estructuras químicas diferentes donde unos son más difíciles de degradar que otros y en donde muchas veces no se puede identificar o cuantificar exactamente a los compuestos presentes, dificultando así su tratamiento.

VII. CONCLUSIONES

- El porcentaje de degradación de los compuestos orgánicos persistentes de los efluentes residuales textiles de la FIQ-UNAC fue de 85% en una hora de tratamiento aplicando el proceso Fotofenton.
- Existe influencia significativa por parte del sulfato de hierro en el porcentaje de degradación de los COPs, se determinó que la dosificación óptima de este reactivo es de 500mg/L en un tiempo de tratamiento de 1 hora.
- El reactivo peróxido de hidrógeno afecta grandemente al porcentaje de degradación de los COPs, se determinó que la dosificación óptima de este reactivo es de 3,5 mL/L en un tiempo de tratamiento de 1 hora.

VIII. RECOMENDACIONES

- Evaluar los efectos de aquellas variables que fueron consideradas constantes en esta investigación, tales como: temperatura, flujo de agua, intensidad de radiación, pH y concentración de contaminante de la muestra inicial para poder formular un modelo matemático completo y describir el comportamiento real del proceso fotocatalítico.
- Controlar la radiación solar uv sobre los reactores fotocatalíticos instalando un sistema automático que filtre y seleccione determinadas longitudes de onda para la evaluación de la eficiencia que ejercen en la degradación de los COPs.
- Realizar estudios sobre factibilidad técnica entre los sistemas fotocatalíticos y biológicos para mejorar la eficiencia del tratamiento.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD LEVANO, Jose Luis. Aplicaciones de proceso Foto Electro Fenton para la oxidacion de contaminantes en la Industria Química. informe de suficiencia para optar el titulo de licenciado en Quimica., Peru-Lima: Universidad Nacional de Ingenieria, 2013.
- ACOSTA GARCÍA, Luis. Proceso Fotofenton de Oxidación Química para el Tratamiento de Aguas Industriales. Tesis de licenciatura, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid., 2009.
- BLANCO BRIEVA, Gema. Síntesis directa de peróxido de hidrógeno con catalizadores de paladio sobre soportes ácidos. Tesis de licenciatura, España-Madrid: Universidad Autonoma de Madrid, 2007.
- BLANCO GALVEZ, Julián et al. Diseño de reactores para fotocatalisis: Evaluación comparativa de las distintas opciones. Parte 1. s.f. <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=3024> (último acceso: 30 de Mayo de 2017).
- BLANCO JURADO, José. Degradación de un efluente textil real mediante proceso fenton y fotofenton. Tesis de maestria, España- Barcelona: Universidad politécnica de catalunya, 2009.
- CHACÓN CASTILLO, Juan Matías. et al. Mineralización de colorantes por foto-fenton y energía solar. s.f.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/chacon.pdf> (último acceso: 27 de Marzo de 2014).

DIAZ-SALAZAR, Miriam Aguirre. Degradación catalítica de contaminantes orgánicos mediante procesos Foto-Fenton UV-A/C/Solar asistidos con Ferrioxalato. Tesis doctoral, España- ciudad Real: Universidad de Castilla La Mancha, 2010.

DÓMENECH XAVIER, Wilson F. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. s.f.
https://www.researchgate.net/profile/Marta_Litter/publication/237764122_Procesos_avanzados_de_oxidacion_para_la Eliminacion_de_contaminantes/links/0046352729223ae0fb000000/Procesos-avanzados-de-oxidacion-para-la-eliminacion-de-contaminantes.pdf (último acceso: 20 de marzo de 2014).

GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. FeCl₃ y TiO₂ interaction with H₂O₂ in the liquid waste treatment from the textil industry using artificial light trough factorial model. Tesis doctoral, Hawaii: Atlantic international university Honolulu, 2008.

GONZÁLEZ CATELLANOS, Roberto A. Principios basicos de escalado. Informe de investigación, Cuba: UNIVERSIDAD DE MATANZAS "CAMILO CIENFUEGOS", 2000.

JIMÉNEZ TOTOTZINTLE, Margarita. Tratamiento de una mezcla de pesticidas comerciales (Hierbamina-Gesaprin 90WG) mediante el sistema fotofento en

- una planta piloto solar. Tesis de maestría, España: Universidad autónoma de nueva león, 2010.
- LEÓNIDAS PEREZ, Estrada. Degradación de Desechos de Laboratorio mediante Fotocatálisis Solar. s.f. https://www.researchgate.net/publication/228919780_Degradacion_de_desechos_de_laboratorio_mediante_fotocatalisis_solar (último acceso: 31 de MAYO de 2017).
- LILIA A, Albert. Compuestos Orgánicos Persistentes. s.f: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-04a20.pdf> (último acceso: 02 de Mayo de 2017).
- LUNA CHAVEZ, Carmen Mabel. Proceso Adecuado para el Tratamiento de Aguas Residuales del Laboratorio del Área Textil de la Fiq-Unac. Informe de investigación, Perú-Callao: Universidad Nacional del Callao, 2008.
- MACÍAS CEDEÑO, Juleisa Estefania. Degradación del paracetamol por medio de la aplicación de procesos avanzados de oxidación en aguas contaminadas. Informe de Investigación, Guayaquil-Ecuador: Universidad Nacional de Guayaquil Facultad de Ingeniería Química, 2015.
- MUÑOZ SANTIBAÑEZ, Alejandro Enrique. Proceso fenton y foto-fenton para la remoción de fenoles de efluentes generados en una planta de celulosa kraft. Tesis de maestría, Brasil: Universidad Federal de Vicosa, 2011.
- RAMIREZ ARIAS, Yasmin Lorena. Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor tubular fotocatalítico (UV-A) para la degradación de desechos químicos

ANEXOS

- Matriz de consistencia
- Informe de análisis de absorbancias leídas en el espectrofotómetro.
- Datos de energía solar incidente diaria en Lima SENAMHI-PERU
- Hoja técnica del peróxido de hidrogeno
- Normas legales sobre los VMA de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario
- Resultados de los análisis de agua emitidos por la empresa JRamon del Perú.

Título: IMPLEMENTACION DEL PROCESO FOTOFENTON PARA DEGRADAR COMPUESTOS ORGANICOS PERSISTENTES DE EFLUENTES RESIDUALES TEXTILES MEDIAN EL USO DE LOS COLECTORES CILINDRO-PARABOLICO COMPUESTOS

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cuál es el resultado de implementar el Proceso Fotofenton como sistema de tratamiento para degradar compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC?	Determinar el resultado de implementar el Proceso Fotofenton como sistema de tratamiento para degradar a los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC.	El resultado de implementar el Proceso Fotofenton como sistema de tratamiento degradará significativamente a los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC.	Y ₁ % de degradación de los compuestos orgánicos persistentes de la muestra experimental.	Absorción de una solución a una determinada frecuencia de luz.	Concentración de COPs en una solución.	<u>Tipo de investigación</u> El tipo de investigación utilizada en nuestra investigación es experimental porque permitirá introducir y manipular variables, es decir, los factores causales para determinar sus efectos.
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE INDEPEND.	DIMENSIONES	INDICADORES	Diseño de investigación
¿Cómo influyen los cambios de concentración de sulfato de hierro en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC?	Determinar la influencia del sulfato de hierro en la degradación de los contaminantes orgánicos persistentes en aguas residuales de los laboratorios del área textil de la FIQ-UNAC.	La dosificación del sulfato de hierro influye significativamente en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC, en un proceso Fotofenton.	X ₁ Dosificación de sulfato ferroso heptahidratado al 99.8 % en la muestra experimental.	Presencia de Fe ⁺² y Fe ⁺³	Concentración de Fe ⁺² y Fe ⁺³ en la solución.	Se implementará un diseño experimental factorial 3 ² , cuyas variables o factores de estudio serán la concentración de Fe ₂ SO ₄ .7H ₂ O y concentración de H ₂ O ₂ . Número de factores: 2 Número de niveles: 3
¿Cómo influyen los cambios de concentración de peróxido de hidrógeno en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC?	Determinar la influencia del peróxido de hidrógeno en la degradación de los contaminantes orgánicos persistentes en aguas residuales de los laboratorios del área textil de la FIQ-UNAC.	La dosificación de peróxido de hidrógeno influye significativamente en la degradación de los compuestos orgánicos persistentes de efluentes residuales textiles de los laboratorios de la FIQ-UNAC, en un proceso Fotofenton.	X ₂ Dosificación de peróxido de hidrógeno al 50% en la muestra experimental.	Presencia de radicales hidroxilo (OH [•])	Concentración de H ₂ O ₂ en la solución	A: Dosificación de Fe ₂ SO ₄ .7H ₂ O [300, 400, 500] mg/L B: Dosificación de H ₂ O ₂ [1.5, 2.5; 3.5] mL/L

Informe de análisis de absorbancias leídas en el espectrofotómetro

Corrida 1
Informe Análisis Concentración

Método
Nombre de Lote C:\Documents and Settings\Laboratorio1\Escritorio\FN\corr2.BCN
Aplicación Concentración 3.00 (339)
Operador

Condiciones del Instrumento
Instrumento Cary 50
N° Versión Instrumento. 3.00
Long. Onda (nm) 557.9
Modo Ordenadas Abs
T. Med. (sec) 0.1000
Replicados 3
Media Patrón/Muestra Apag.
Correcciones de peso y volumen Apag.
Tipo Ajuste Lineal
Mín R² 0.95000
Unidades Concentración mg/L
Cambiador Celdas Encen.

Comentarios:

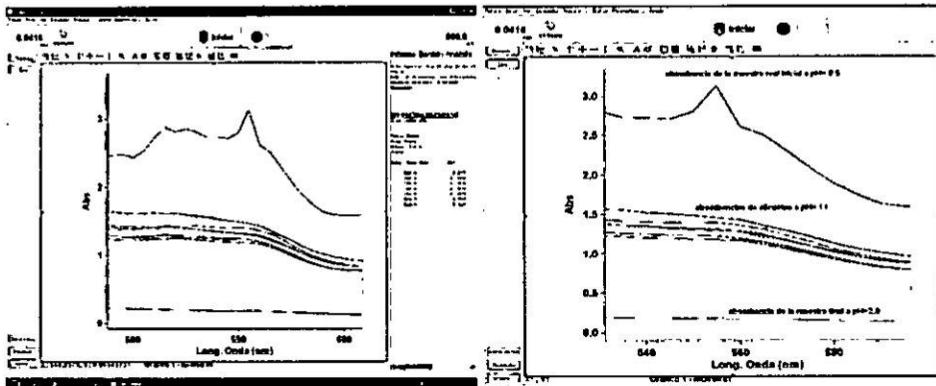
Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.9567 3.0574 2.9013
	300.05	O	2.9718	0.0791	2.66	
Muestra2						1.3205 1.3163 1.3189
	147.38		1.3186	0.0022	0.16	
Muestra3						1.5139 1.5140 1.5117
	147		1.5132	0.0013	0.09	
Muestra4						1.3686 1.3686 1.3705
	146.2		1.3692	0.0011	0.08	
Muestra5						1.4658 1.4686 1.4634
	145.5		1.4659	0.0026	0.18	
Muestra6						1.4293 1.4294 1.4307
	144.62		1.4298	0.0008	0.06	
Muestra7						1.5862 1.5911 1.5925
	144.02		1.5899	0.0033	0.21	

Leyenda Marcas Resultados

U = Sin calibrar O = Fuera de rango
N = No usado en calibración R = Lectura repetida

Concentración vs longitud de onda

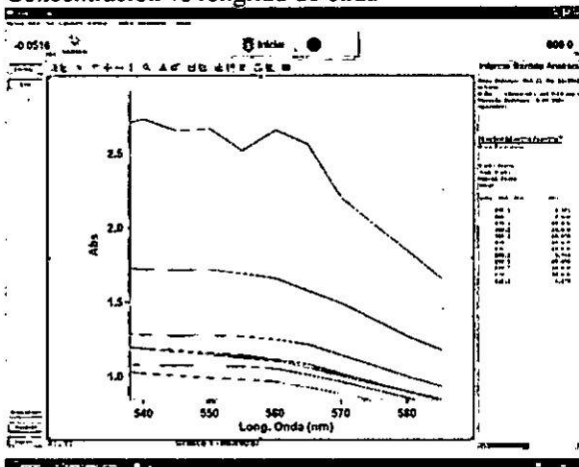


Corrida 2

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.7518 2.7952 2.8175
	300.08		2.7882	0.0334	1.20	
Muestra2						1.8335 1.8495 1.8405
	146.2		1.8412	0.0080	0.44	
Muestra3						1.4005 1.4034 1.4007
	146.1		1.4015	0.0016	0.12	
Muestra4						1.2003 1.1989 1.1983
	145.8		1.1992	0.0010	0.08	
Muestra5						1.2670 1.2674 1.2669
	144		1.2671	0.0003	0.02	
Muestra6						1.1126 1.1125 1.1131
	134.1		1.1127	0.0003	0.03	
Muestra7						1.2508 1.2533 1.2545
	104.73		1.2529	0.0019	0.15	

Concentración vs longitud de onda

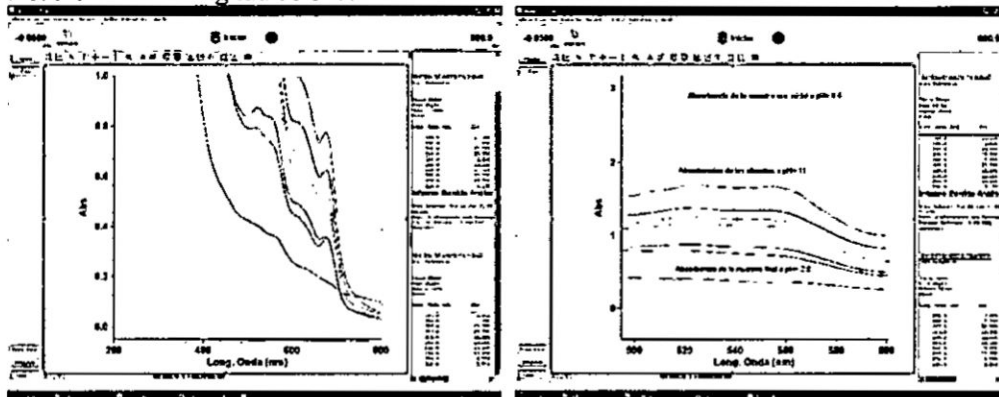


Corrida 3

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestral						2.6310 2.6477 2.6097
	299.97		2.6295	0.0190	0.72	
Muestra2						1.3963 1.3940 1.3968
	111.2		1.3957	0.0015	0.11	
Muestra3						1.7197 1.7166 1.7196
	136.5		1.7186	0.0018	0.10	
Muestra4						1.3038 1.3018 1.3045
	123.8		1.3034	0.0014	0.11	
Muestra5						1.2092 1.2110 1.2104
	96.6		1.2102	0.0009	0.08	
Muestra6						0.8435 0.8426 0.8447
	90.5		0.8436	0.0011	0.13	
Muestra7						0.9338 0.9333 0.9336
	88.790		0.9336	0.0002	0.02	

Absorbancia vs longitud de onda



Corrida 4

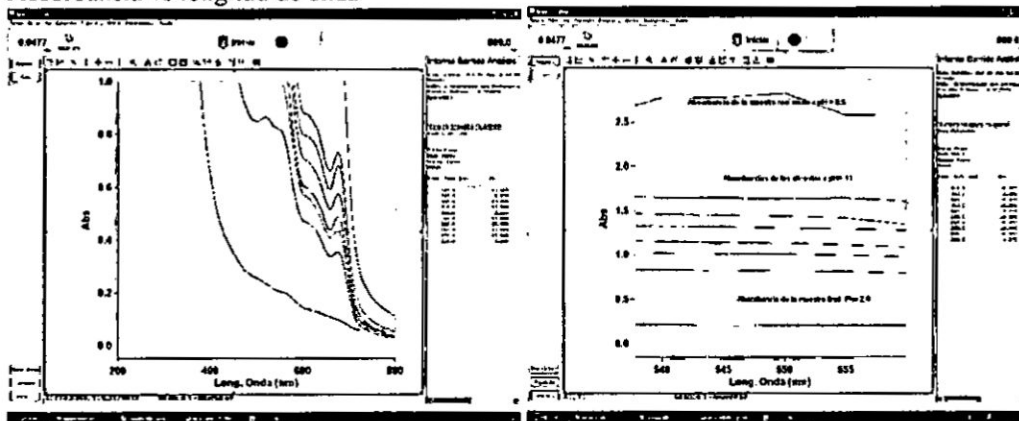
Informe Análisis Concentración

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestral						2.6924 2.8029 2.7056
	300		2.7336	0.0604	2.21	
Muestra2						1.7387 1.7357 1.7382
	137.9		1.7375	0.0016	0.09	

Muestra3					1.5280
					1.5282
	121.6	1.5288	0.0013	0.09	1.5304
Muestra4					1.4166
					1.4152
	112.8	1.4161	0.0008	0.06	1.4165
Muestra5					1.2401
					1.2427
	110.15	1.2399	0.0029	0.24	1.2368
Muestra6					1.1262
					1.1249
	106.4	1.1254	0.0007	0.06	1.1251
Muestra7					0.9436
					0.9446
	105.39	0.9442	0.0005	0.06	0.9442

Absorbancia vs longitud de onda



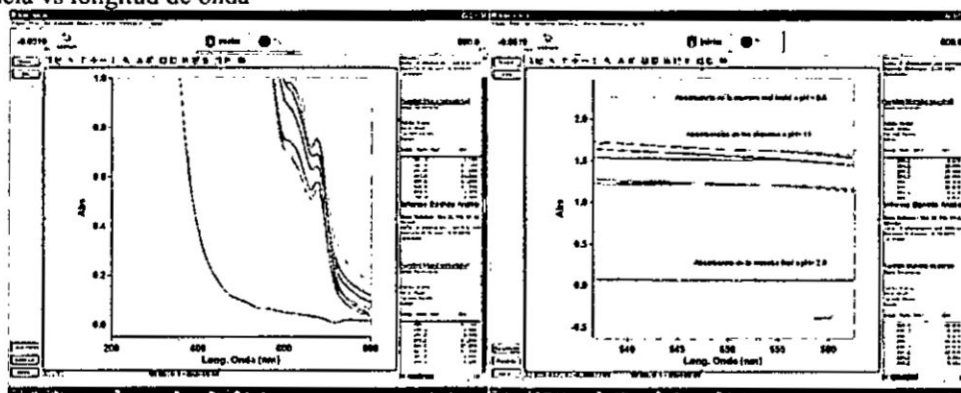
Corrida 5

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.4441
						2.4316
	299.9		2.4353	0.0077	0.32	2.4300
Muestra2						1.6914
						1.6851
	127.6		1.6880	0.0032	0.19	1.6875
Muestra3						1.3591
						1.3586
	116.4		1.3590	0.0003	0.02	1.3592
Muestra4						1.3152
						1.3155
	112.2		1.3168	0.0025	0.19	1.3197
Muestra5						1.7915
						1.7985
	108.4		1.7955	0.0036	0.20	1.7967
Muestra6						1.7398
						1.7453
	102.9		1.7402	0.0050	0.29	1.7353

Muestra7					1.6830
					1.6871
	78.96	1.6850	0.0021	0.12	1.6849
	101.2	1.2678	0.0027	0.22	1.2658

Absorbancia vs longitud de onda

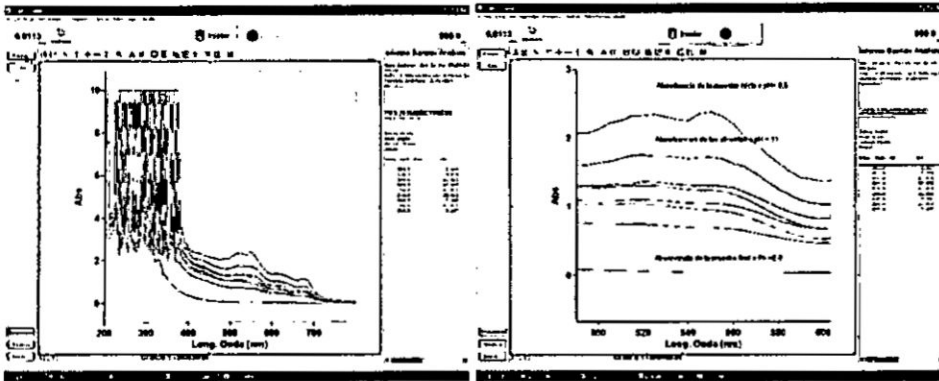


Corrida 6

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.3944
	299.88		2.3872	0.0117	0.49	2.3736
						2.3935
Muestra2						1.7853
	149.8		1.7906	0.0052	0.29	1.7958
						1.7906
Muestra3						1.3103
	132.5		1.3106	0.0012	0.09	1.3119
						1.3095
Muestra4						1.3848
	97.8		1.3851	0.0013	0.09	1.3840
						1.3865
Muestra5						1.1348
	83.4		1.1341	0.0013	0.12	1.1326
						1.1351
Muestra6						1.0452
	64.31		1.0440	0.0010	0.10	1.0434
						1.0435
Muestra7						0.7873
	53.98		0.7876	0.0002	0.03	0.7877
						0.7876

Absorbancia vs longitud de onda

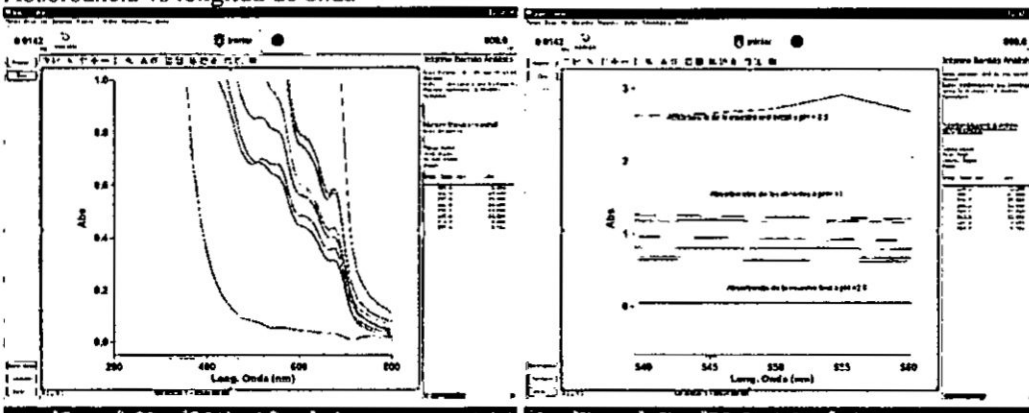


Corrida 7

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.7187 2.8787 2.8760
	300.03	0	2.8245	0.0916	3.24	
Muestra2						1.3487 1.3525 1.3499
	142.2		1.3504	0.0020	0.15	
Muestra3						0.8268 0.8278 0.8272
	127.4		0.8273	0.0005	0.06	
Muestra4						1.2412 1.2419 1.2433
	118.1		1.2421	0.0011	0.08	
Muestra5						0.9117 0.9134 0.9112
	113		0.9121	0.0011	0.12	
Muestra6						0.9953 0.9955 0.9971
	113.4		0.9960	0.0010	0.10	
Muestra7						0.7630 0.7627 0.7618
	99.40		0.7625	0.0006	0.08	

Absorbancia vs longitud de onda

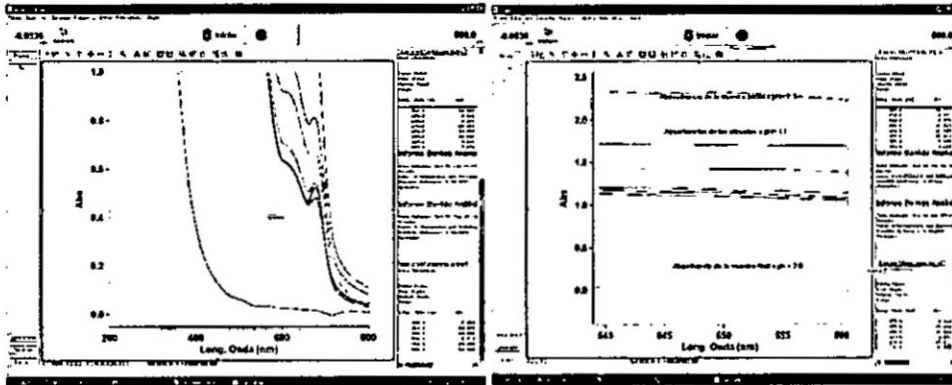


Corrida 8

Análisis

Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.4821 2.4427 2.4657
	300		2.4635	0.0198	0.80	
Muestra2						1.8874 1.8691 1.8812
	139.3		1.8792	0.0093	0.49	
Muestra3						1.5521 1.5569 1.5510
	127.8		1.5533	0.0032	0.20	
Muestra4						1.2690 1.2710 1.2674
	121		1.2691	0.0018	0.14	
Muestra5						1.3002 1.3016 1.3008
	117.4		1.3009	0.0007	0.05	
Muestra6						1.2109 1.2142 1.2118
	105.7		1.2123	0.0017	0.14	
Muestra7						1.2082 1.2098 1.2093
	86.30		1.2091	0.0008	0.07	

Absorbancia vs longitud de onda



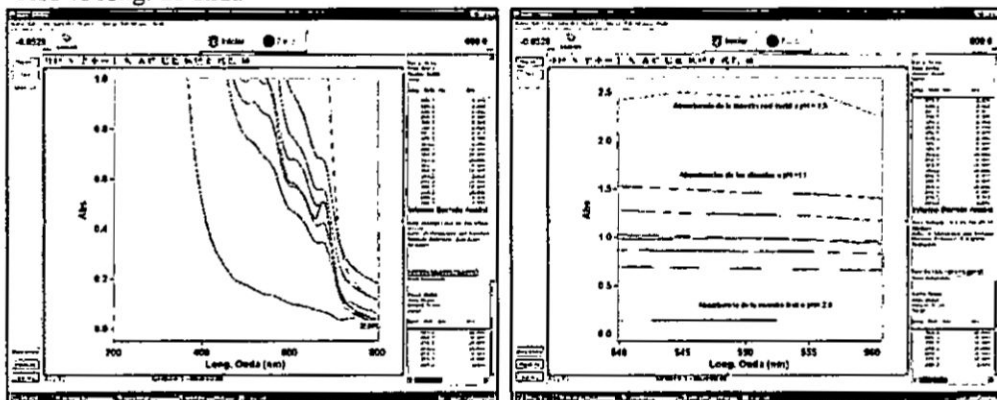
Corrida 9

Análisis

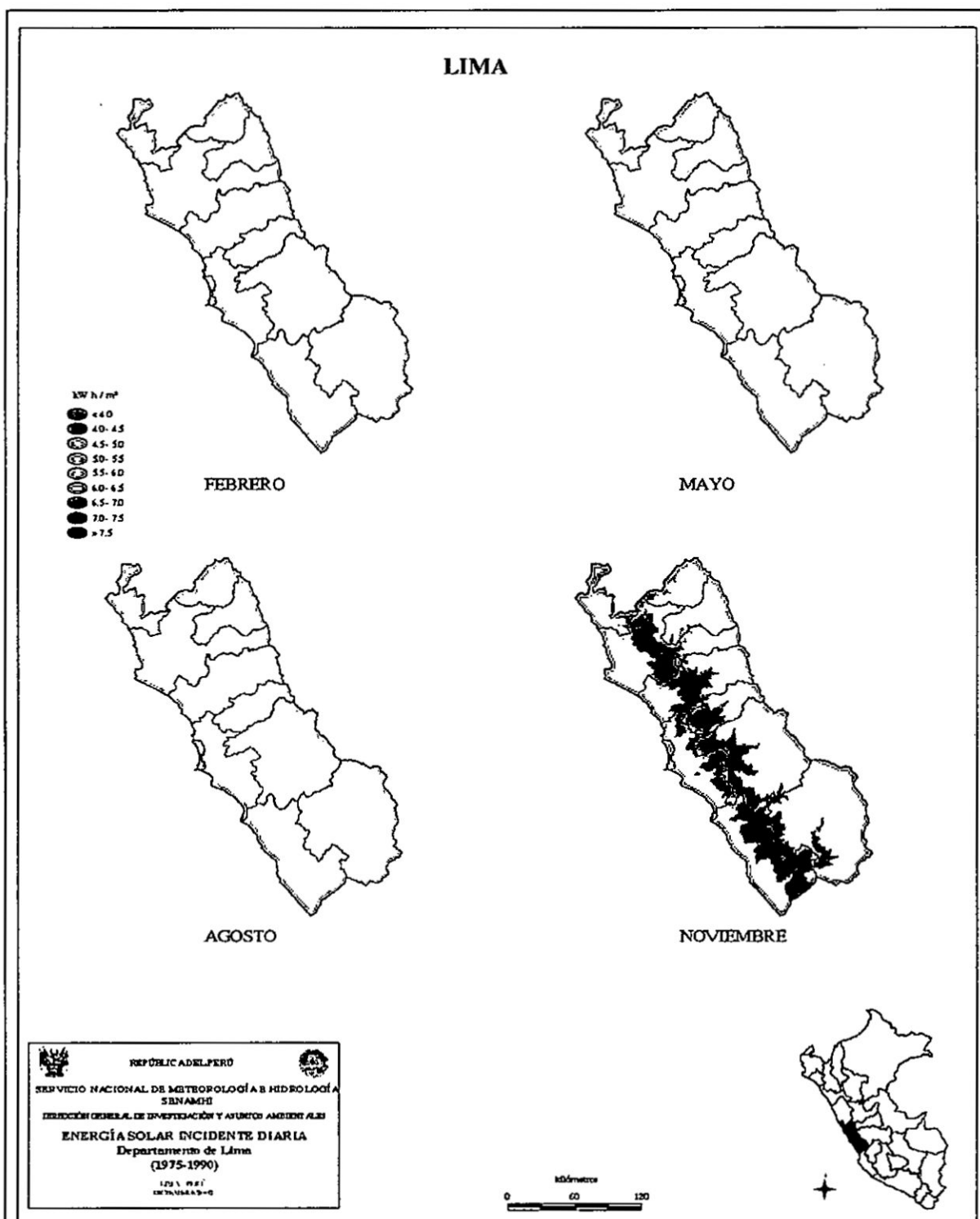
Muestra	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1						2.6158 2.6136 2.5487
	300.01		2.5927	0.0381	1.47	
Muestra2						1.1137 1.1143 1.1102
	145.5		1.1128	0.0022	0.20	
Muestra3						1.1125 1.1126

	115.1	1.1125	0.0002	0.01	1.1123
Muestra4					1.1533
					1.1569
	90.52	1.1554	0.0019	0.16	1.1560
Muestra5					0.9682
					0.9686
	83.49	0.9686	0.0004	0.04	0.9689
Muestra6					1.2626
					1.2657
	75.27	1.2627	0.0030	0.23	1.2598
Muestra7					0.7926
					0.7942
	63.0	0.7934	0.0008	0.10	0.7936

Abs vs long. de onda



Datos de energía solar incidente diaria en lima según del servicio nacional de meteorología e hidrología SENAMHI – República del Perú





HOJA TECNICA DEL PEROXIDO DE HIDROGENO (50% GRADO TECNICO) PROPIEDADES FISICAS:

PARAMETROS:	ESPECIFICACIONES:
COLOR Y FORMA	LIQUIDO TRANSPARENTE.
CONCENTRACION H ₂ O ₂ (% EN PESO):	50.
CONCENTRACION H ₂ O ₂ (G/L) A 20 °C	59
CONTENIDO DE OXIGENO ACTIVO, %	23.
KILOGRAMO CONTIENE 500 GR DE H ₂ O ₂ CON 235 GR. DE OXIGENO ACTIVO.	
1 LITRO CONTIENE 598 GR DE H ₂ O ₂ CON 281 GR DE OXIGENO ACTIVO.	
PESO MOLECULAR PROMEDIO, g/gmol	23.55
DENSIDAD A 20 °C (g/cm)	1.196
CONCENTRACION EN "VOLUMENES"	19
CALOR ESPECIFICO MEDIO DE 0 A 27 °C	0.790 cal/g °C
pH. (rango aproximado)	1 -
INDICE DE REFRACCION A 25 °C	1.366
ESTABILIDAD, (16 HRS. A 96 °C), %	>
PUNTO DE CONGELACION, °C	-
PRESION DE VAPOR A 30 °C, mmHg	1
KPa	8
PUNTO DE EBULLICION, °C	11
VISCOSIDAD A 0 °C cps (mPa.seg)	1.8
A 30 °C cps (mPa.seg)	7
Estabilidad a 30 °C (pérdida)	1 % al año
A 66 °C	1% a la semana
A 100 °C	2 - 3 % en 24 horas.

DESCRIPCIÓN:

El **Peróxido de Hidrógeno (50 %)** (grado técnico), es uno de los productos químicos más versátiles, seguro y deseable desde el punto de vista ecológico que existen en la actualidad, ya que no es agresivo con el medio ambiente. Es adecuado para la mayoría de las aplicaciones industriales. Este grado puede ser diluido con agua deionizada, hasta llegar a cualquier grado de dilución deseado (10, 20, 30, 60 o 100 Volúmenes)

El **Peróxido de Hidrógeno 50 % (Grado Técnico)** es un líquido claro, sin color y es soluble en el agua en cualquier proporción. Al descomponerse libera oxígeno y agua, sin dejar ningún residuo tóxico.

Las soluciones de **Peróxido de Hidrógeno** concentradas o diluidas por sí mismas no son flamables, pero pueden favorecer la ignición de materiales fácilmente oxidables como papel, madera u otros materiales.

La reacción con materiales orgánicos, polvo, metales pesados, sales, etc. Pueden causar su descomposición. Si hubiera derrames del material deberán diluirse con agua en abundancia, antes de desecharlos al drenaje.

USOS:

El **Peróxido de Hidrógeno** puede actuar como oxidante (en pHs alcalinos) y como reductor (en pHs ácidos). Se emplea en la mayoría de los casos como oxidante y como blanqueador en la industria textil, en lavanderías de pantalones de mezclilla, de celulosa y papel, en el destinado de papel periódico, en cosméticos, síntesis orgánicas, tratamientos de

Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2° de la Ley N° 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 N° 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 N° 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 deprecación 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 N° 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.

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 se 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 (DBO₅), 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 5º.- 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 6º.- 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 5º, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 7º.- 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 8º.- 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 9º.- 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.

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 56º 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 56º.- 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.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO N° 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



Lima, viernes 20 de noviembre de 2009

ANEXO N° 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)	Mi/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.



CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 CALIDAD DE AGUA

Tabla N° 4.1.1.- Parámetros de Campo - Agua Residual Industrial

Estación	Fecha	Hora	pH (Unid. pH)	Temperatura (°C)	Conductividad µS/cm	Oxígeno Disuelto mg/L
ING-PTAR	31/03/2016	12:00	8,42	25,1	6 580	3,14
SAL-PTAR	31/03/2016	13:00	2,80	25,4	7 230	5,85
VMA ⁽¹⁾			6 - 9	<35	NA	NA

(1): DS N° 001-2015-VIVIENDA. Se modifican diversos artículos del DS N° 021-2009-VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado así como de su reglamento, aprobado mediante DS N° 003-2011-VIVIENDA y modificado por el DS N° 010-2012-VIVIENDA.
 NA: No Aplica.

Tabla N° 4.1.2.- Resultados de Laboratorio - Agua Residual Industrial

Parámetros	Unidad	Estaciones		VMA ⁽¹⁾
		ING-PTAR	SAL-PTAR	
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	1 017	18	500
Demanda química de oxígeno	mg/L	2 777	52	1 000
Dureza total	mg/L CaCO ₃	799	999	NA
Fe +2	mg/L	5,90	27,44	NA
Fe +3	mg/L	5,19	46,09	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	5 750	6 507	500
Turbiedad	NTU	13,90	126,0	NA

(1): DS N° 001-2015-VIVIENDA. Se modifican diversos artículos del DS N° 021-2009-VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado así como de su reglamento, aprobado mediante DS N° 003-2011-VIVIENDA y modificado por el DS N° 010-2012-VIVIENDA.
 NA: No Aplica.

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE, OTORGA la presente Renovación de la Acreditación a

J. RAMÓN DEL PERÚ S.A.C.

En su calidad de Laboratorio de Ensayo

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025 2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

Sede Acreditada: Av Paseo de la República Nro. 3780 (Oficinas Administrativas), distrito de San Isidro, y en Av Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcelas 3-4 y 5 (Laboratorios), distrito de Lurin, provincia de Lima y departamento de Lima

Fecha de Renovación: 07 de febrero de 2014

Fecha de Vencimiento: 07 de febrero de 2018

Registro N° LE - 02A

Fecha de emisión: Jueves 3 de septiembre de 2015

DA-acr-01P-02NI Ver 00



Augusto Mello Romero

Director - Dirección de Acreditación