

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DE UNA PLANTA DE PINTURAS MEDIANTE EL PROCESO FENTON”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES

**YANINA MELISSA ALIAGA HUATUCO**

**LISAEM MILEYDY HUERTA LINO**

**NICOELL ESTEFANY JIMENEZ HUAMANI**

ASESOR: Dr. LUIS CARRASCO VENEGAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

# TESIS - ALIAGA- HUERTA- JIMENEZ

**7%**  
Textos sospechosos



**7% Similitudes**  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
3% Idiomas no reconocidos (ignorado)

Nombre del documento: TESIS - ALIAGA- HUERTA- JIMENEZ.pdf  
ID del documento: d8dc871fc6f04d7cd8ca5aa928401ecc29a28f1c  
Tamaño del documento original: 3,94 MB  
Autores: []

Depositante: FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION  
Fecha de depósito: 21/10/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 21/10/2024

Número de palabras: 12.448  
Número de caracteres: 85.998

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>ruc.udc.es</b> https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/16182/4/VilarMontesinos_Almukena_TD_2015.pdf 4 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (361 palabras)
2	<b>repositorio.uam.es</b> https://repositorio.uam.es/bitstream/10486/9041/1/47816_pliego_rodriguez_gema.pdf 1 fuente similar	2%		Palabras idénticas: 2% (175 palabras)
3	<b>TESIS - ARCONDOR- FLORES- VELARDE.pdf</b>   TESIS - ARCONDOR- FLORES- V... #19d926 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (99 palabras)
4	<b>TESIS - ROSAS CASTILLO Y NONAJULCA ALVAREZ.pdf</b>   TESIS - ROSAS CASTI... #46cb25 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (78 palabras)
5	<b>TESIS DE MAESTRIA IQ - ANCHIVILCA ZAVALETA y BLAS MOGOLLÓN.pdf</b>   ... #784899 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (71 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>TESIS - HINOSTROZA_ALARCON_QUICHE.pdf</b>   TESIS - HINOSTROZA_ALARC... #ec30af El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
2	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5165/T010_20082952_M.pdf?seq... #f72970	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
3	<b>Documento de otro usuario</b> #f72970 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
4	<b>Archivo 1 1A, Bazalar Paz, Miguel Angel-Informe Final-2024.docx</b>   Inform... #07a3f9 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #12325b El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD:** Ingeniería Química

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** Unidad de investigación de la Facultad de Ingeniería Química

**TÍTULO:** “Reducción de la demanda química de oxígeno en las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton”

### **AUTORES / CÓDIGO ORCID / DNI**

Yanina Melissa Aliaga Huatuco / 0009-0009-5408-2025 / 73119178

Lisaem Mileydy Huerta Lino / 0009-0005-2239-6864 / 73779579

Nicoell Estefany Jimenez Huamani / 0009-0008-9713-9653 / 48254496

### **ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI**

Dr. Luis Carrasco Venegas / 0000-0002-7832-3366 / 25825871

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** Laboratorio de Soluciones Químicas Ambientales SAC

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** Agua residual procedente de una industria de pinturas.

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN / NIVEL**

Aplicada / Cuantitativo / Experimental / Explicativo

**TEMA OCDE:** Ingeniería de procesos

## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

La presente Tesis fue Sustentada por la señorita bachiller **ALIAGA HUATUCO YANINA MELISSA**, la señorita bachiller **HUERTA LINO LISAEM MILEYDY** y la señorita bachiller **JIMENEZ HUAMANI NICOELL ESTEFANY** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

**Ing. Dr. DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO** :PRESIDENTE

**Ing. Mg. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO** :SECRETARIO

**Lic. Dr. TRUJILLO PÉREZ SALVADOR APOLINAR** :VOCAL

**Lic. Mg. CABRERA ARISTA CESAR** :SUPLENTE

**Ing. Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO** :ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N°1 de Tesis con Ciclo Taller de Tesis Folio N° 141 y Acta N° 140 de fecha **VEINTISEIS DE OCTUBRE DEL 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo Taller de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con la resolución N° 150-2023 CU de fecha 15 de junio de 2023.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
XII CICLO TALLER DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



*“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”*

INFORME N° 006-2024-JS-XIICTT-FIQ

DE : Ing. Dr. DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN  
XII CICLO TALLER DE TESIS – FIQ

PARA : Ing. Dr. CALDERÓN CRUZ JULIO CESAR  
DECANO – FIQ

ASUNTO : LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES

FECHA : Bellavista, 20 de noviembre de 2024

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a su vez comunicarle que al haberse visto y revisado las observaciones formuladas por el Jurado de Sustentación del XII Ciclo Taller de Tesis FIQ a la Tesis titulada **“REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DE UNA PLANTA DE PINTURAS MEDIANTE EL PROCESO FENTON”** presentado por los bachilleres señorita **ALIAGA HUATUCO YANINA MELISSA**, señorita **JIMENEZ HUAMANI NICOELL ESTEFANY** y señorita **HUERTA LINO LISAEM MILEYDY** de la Facultad de Ingeniería Química, el Jurado de Sustentación da su conformidad respecto al levantamiento de observaciones para que continúe con los trámites respectivos.

Atentamente.

Ing. Dr. DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN  
XII CICLO TALLER DE TESIS – FIQ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
XII CICLO TALLER DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



ACTA N° 140 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

LIBRO N° 01 FOLIO N° 141 ACTA N° 140 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

A los 26 días del mes de octubre del 2024, siendo las 10:16 horas, se reunieron, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS, para la obtención del Título profesional de Ingeniero Químico, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. Dr. DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO	PRESIDENTE
Ing. Dr. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO	SECRETARIO
Lic. Dr. TRUJILLO PÉREZ SALVADOR APOLINAR	VOCAL
Lic. Mg. CABRERA ARISTA CESAR	SUPLENTE
Ing. Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMÉRICO	ASESOR

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los bachilleres ALIAGA HUATUCO YANINA MELISSA, JIMENEZ HUAMANI NICOELL ESTEFANY Y HUERTA LINO LISAEM MILEYDY, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustentan la tesis "REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DE UNA PLANTA DE PINTURAS MEDIANTE EL PROCESO FENTON", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera presencial.

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por APROBADO con la escala de calificación cualitativa MUY BUENO y calificación cuantitativa 17, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio de 2023.

Se dio por concluida la sustentación a las 11:15 horas del día 26 de octubre del año en curso.

  
Ing. Dr. DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

  
Ing. Dr. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO  
SECRETARIO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

  
Lic. Dr. TRUJILLO PÉREZ SALVADOR APOLINAR  
VOCAL DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

  
Lic. Mg. CABRERA ARISTA CESAR  
SUPLENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

  
Ing. Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMÉRICO  
ASESOR DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta investigación principalmente a Dios, por darnos la fuerza necesaria para perseverar a pesar de las dificultades que hemos enfrentado desde los inicios de nuestra formación. También, queremos expresar nuestra gratitud hacia nuestros padres por el apoyo incondicional en todo momento y fortaleza necesaria para mejorar cada día, su amor incondicional ha sido fundamental, y este logro es también un tributo a su dedicación.

A nuestros queridos maestros que nos brindaron todos sus conocimientos durante la etapa de formación en nuestra querida alma máter.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a nuestra familia, por su amor y apoyo incondicional, por brindarnos siempre su confianza y aliento en los momentos más difíciles. A mis amigos y compañeros, por su compañía, comprensión y apoyo a lo largo de estos años.

Agradecemos a nuestro asesor Dr. Luis Carrasco Venegas, por su orientación, paciencia y valiosas sugerencias durante el desarrollo del trabajo de investigación. Su apoyo fue fundamental para alcanzar este objetivo.

A nuestra alma Mater, la Universidad Nacional del Callao, y a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería Química quienes nos han compartido sus conocimientos, durante la etapa de formación.



# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	10
1.2 Formulación del problema .....	11
1.2.1. Problema general .....	11
1.2.2. Problemas específicos.....	11
1.3 Objetivos de la investigación.....	11
1.3.1. Objetivo general .....	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificación .....	12
1.5 Delimitantes de la investigación.....	12
1.5.1 Teórica .....	12
1.5.2 Temporal.....	13
1.5.3 Espacial .....	13
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
2.1 Antecedentes: Internacional y nacional .....	14
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	14
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	17
2.2 Bases teóricas.....	19
2.2.1. Aguas residuales industriales.....	19

2.2.2.	Tratamiento de aguas residuales industriales.....	20
2.2.3.	Clasificación del tratamiento de las aguas residuales.....	20
2.2.4.	Tratamientos convencionales .....	21
2.3	Marco conceptual .....	26
2.3.1.	Proceso Fenton .....	26
2.3.2.	Normativa legal aplicada al agua residual .....	27
2.4	Definición de términos básicos .....	27
<b>III.</b>	<b>HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>30</b>
3.1	Hipótesis general y específicas.....	30
3.2	Operacionalización de variable .....	30
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....</b>	<b>32</b>
4.1	Diseño metodológico .....	32
4.2	Método de investigación.....	34
4.3	Población y muestra.....	36
4.4	Lugar de estudio y período desarrollado .....	37
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	37
4.5.1.	Técnicas Analíticas .....	37
4.5.2.	Procedimiento y desarrollo de las corridas experimentales ..	37
4.5.3.	Equipos y materiales.....	42
4.6	Análisis y procesamiento de datos.....	43
4.7	Aspectos éticos en investigación .....	43
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>44</b>
5.1.	Resultados descriptivos.....	44
5.1.1.	Caracterización del agua residual.....	44
5.1.2.	Tratamiento del agua residual mediante el proceso Fenton ..	45
5.1.3.	Caracterización del agua residuales después del tratamiento	46

5.2. Resultados Inferenciales.....	47
5.2.1. Prueba estadística de residuales en el proceso Fenton .....	47
5.2.2. Gráficas de efectos principales e interacción en el proceso Fenton	50
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	53
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares ....	54
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	55
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>64</b>
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	64
Anexo 2. Informe de ensayo .....	65
Anexo 3. Resultados experimentales de la DQO .....	71
Anexo 4. Costo del tratamiento del agua residual .....	72
Anexo 5. Instructivo para la determinación de la DQO .....	73
Anexo 6. Registro fotográfico de la experiencia en laboratorio .....	80
Anexo 7. Materiales y equipos.....	83
Anexo 8. Fichas técnicas .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Principales POAs utilizados en el tratamiento de aguas residuales ...	22
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de variables .....	31
<b>Tabla 3</b> Diseño experimental .....	33
<b>Tabla 4</b> Resultados de cada tratamiento .....	35
<b>Tabla 5</b> Técnica de análisis de la demanda química de oxígeno.....	37
<b>Tabla 6</b> Caracterización inicial del agua residual muestreada.....	44
<b>Tabla 7</b> Reducción de la DQO en el proceso Fenton .....	45
<b>Tabla 8</b> Eficiencia de reducción de parámetros después del tratamiento por Fenton.....	46
<b>Tabla 9</b> Resumen del diseño factorial.....	47
<b>Tabla 10</b> Análisis de varianza.....	49
<b>Tabla 11</b> Costo de tratamiento del agua residual .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema de la clasificación de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales .....	21
<b>Figura 2</b> Clasificación de los procesos de oxidación avanzada.....	23
<b>Figura 3</b> Esquema de los procesos homogéneos y heterogéneos.....	27
<b>Figura 4</b> Etapas experimentales.....	36
<b>Figura 5</b> Toma de muestra de agua residual de la planta de pinturas.....	38
<b>Figura 6</b> Muestra almacenada en el laboratorio .....	38
<b>Figura 7</b> Muestra recolectada para el análisis de laboratorio .....	39
<b>Figura 8</b> Test de jarras .....	40
<b>Figura 9</b> Muestras preparadas en el reactor Rocker .....	41
<b>Figura 10</b> Lectura de la DQO en el multiparámetro.....	41
<b>Figura 11</b> Grafica de probabilidad normal de residuos.....	48
<b>Figura 12</b> Diagrama de pareto.....	50
<b>Figura 13</b> Gráfica de efectos principales para el % de reducción de DQO .....	51
<b>Figura 14</b> Gráfica de interacción para el porcentaje de reducción de DQO .....	52

## RESUMEN

La presente investigación empleó una metodología de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y diseño experimental, con el objetivo de reducir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales provenientes de una planta de pinturas utilizando el proceso Fenton. Este proceso, basado en la reacción de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), se estudió mediante un diseño factorial que permitió evaluar el impacto de diferentes concentraciones de ambos reactivos en la remoción de la DQO. Los factores estudiados incluyeron tres niveles de concentración de  $H_2O_2$  (660 ppm, 840 ppm y 1020 ppm) y tres niveles de concentración de  $FeSO_4$  (20 ppm, 40 ppm y 60 ppm). Para obtener resultados estadísticamente válidos, se llevaron a cabo 9 corridas con 2 repeticiones experimentales, siendo 18 corridas en total. Previamente, se caracterizó el agua residual midiendo parámetros como pH, temperatura, conductividad, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD) y DQO, y se ajustó el pH a 2.87 para optimizar el proceso. Cada tratamiento tuvo una duración de 2 horas, tras las cuales se ajustó el pH entre 7 a 8.5 con NaOH al 1N para cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por la normativa peruana. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva e inferencial, aplicando análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de normalidad de residuos, utilizando el software MINITAB 19. Finalmente, las concentraciones óptimas fueron:  $H_2O_2 = 660\text{ppm}$  y  $FeSO_4 = 60\text{ ppm}$ , logrando una reducción máxima de la DQO del 87.65% en las mejores condiciones experimentales.

**Palabras clave:** Fenton, tratamiento de aguas residuales, calidad del agua.

## ABSTRACT

The present research used an applied methodology, with a quantitative approach and experimental design, with the objective of reducing the Chemical Oxygen Demand (COD) of wastewater from a paint plant using the Fenton process. This process, based on the reaction of hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) and ferrous sulfate ( $\text{FeSO}_4$ ), was studied using a factorial design that allowed evaluating the impact of different concentrations of both reagents on the removal of COD. The factors studied included three concentration levels of  $\text{H}_2\text{O}_2$  (660 ppm, 840 ppm and 1020 ppm) and three concentration levels of  $\text{FeSO}_4$  (20 ppm, 40 ppm and 60 ppm). To obtain statistically valid results, 9 runs with 2 experimental repetitions were carried out, making 18 runs in total. Previously, the wastewater was characterized by measuring parameters such as pH, temperature, conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS), dissolved oxygen (DO) and COD, and the pH was adjusted to 2.87 to optimize the process. Each treatment lasted 2 hours, after which the pH was adjusted between 7 to 8.5 with 1N NaOH to comply with the Maximum Admissible Values (MAV) established by Peruvian regulations. The data were analyzed using descriptive and inferential statistics, applying analysis of variance (ANOVA) and normality tests of residuals, using the MINITAB 19 software. Finally, the optimal concentrations were:  $\text{H}_2\text{O}_2 = 660\text{ppm}$  y  $\text{FeSO}_4 = 60\text{ ppm}$ , achieving a maximum reduction in the COD of the 87.65% in the best experimental conditions.

**Keywords:** Fenton, wastewater treatment, water quality.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la industria de las pinturas ha experimentado un crecimiento significativo debido a la demanda creciente de productos decorativos y protectores. Sin embargo, este incremento en la producción conlleva una preocupación ambiental cada vez mayor, especialmente en lo que respecta al tratamiento de las aguas residuales generadas durante los procesos industriales.

Es bien sabido que las aguas residuales de las plantas de pinturas presentan una alta carga de contaminantes orgánicos, los cuales pueden impactar adversamente en los cuerpos receptores si no son tratados adecuadamente. Entre estos contaminantes, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se destaca como un parámetro crítico que indica la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de materia orgánica en el agua. La elevada DQO no solo afecta la calidad del agua, sino que también puede comprometer la vida acuática y los ecosistemas circundantes. Por ello, tratar de forma segura estas aguas residuales antes de verterlas a fuentes naturales de agua es esencial para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU, en particular el Objetivo 14: Vida submarina. (1)

Además, el incremento de la población mundial tiene un efecto directo en el consumo y contaminación de agua fresca, debido al tratamiento inadecuado y su descarga, especialmente en países en vías de desarrollo. (2) Por esta razón, el tratamiento de aguas se ha vuelto imperativo para el continuo desarrollo de la sociedad. (3)

En este contexto, el proceso Fenton ha emergido como una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas residuales industriales, gracias a su capacidad para degradar compuestos orgánicos mediante la generación de radicales hidroxilos altamente oxidantes. Este método, basado en la reacción de peróxido de hidrógeno con iones de hierro bajo condiciones ácidas, ha demostrado ser eficaz en la reducción de la DQO y otros contaminantes orgánicos recalcitrantes.



El proceso Fenton es un proceso de oxidación avanzada (POA) en el que se utilizan como reactivos hierro y peróxido de hidrógeno, y que es capaz de tratar la mayor parte de los contaminantes del agua. (4)

El presente trabajo de investigación se enfoca en determinar la viabilidad del proceso Fenton aplicado a las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas, con el objetivo principal de reducir significativamente la carga de DQO y que estén dentro de los Valores Máximos Admisibles (VMA). Se explorarán tanto los parámetros operativos óptimos del proceso como los efectos del tratamiento sobre la composición química del efluente, con el fin último de proponer una solución efectiva y sostenible para mejorar la calidad del agua residual industrial.

A través de este trabajo, se busca contribuir al conocimiento científico en el campo del tratamiento de aguas residuales industriales, proporcionando evidencia sobre la eficacia del proceso Fenton y sus posibles aplicaciones en la industria de la pintura para mitigar su impacto ambiental.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

La planta de pinturas se encuentra ubicada en la zona urbana del distrito de Pachacamac, de la provincia de Lima, departamento de Lima; en dicha planta se utilizan diversos tipos de pinturas para fabricar equipos de competición y artículos deportivos, así como para decorar paredes, techos y muebles, entre otras actividades que generan aguas residuales que en su mayoría provienen de su proceso de elaboración y producción, así como del lavado de sus herramientas de trabajos, limpieza de sus espacios interiores y mezclas sobrantes.

El residuo más significativo que una industria de pinturas debe gestionar proviene principalmente del lavado de los equipos, lo cual constituye el 80% de los desechos producidos por este sector. (5)

En general, los efluentes provenientes de una industria de pinturas son alcalinos y presentan altos valores de DQO, metales pesados, sólidos suspendidos y materiales de color, los cuales generan un daño significativo al medio ambiente. (5)

A estos parámetros elevados se suma la incapacidad de las industrias para reducir la concentración de niveles de DQO en sus plantas de tratamiento de aguas residuales por debajo de los valores de referencia, lo que es motivo de preocupación en este tipo de industrias. (1)

De acuerdo a una estimación, las industrias de fabricación de pinturas en todo el mundo utilizan alrededor de 75 a 85 millones de galones por día, de los cuales solo aproximadamente el 4% se recicla. Casi el 70% de estas aguas residuales se descarga sin tratar en cuerpos de agua naturales, mientras que alrededor del 25% se evapora. (6)

Según un informe elaborado por la Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento (SUNASS), ente fiscalizador y sancionador del cumplimiento de los

parámetros del anexo I de los VMA (DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas) para aguas residuales no domésticas, diagnosticó que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lima y Callao durante el año 2022, mostraron altas concentraciones de  $\text{DBO}_5$ , DQO y SST, dichas características de los efluentes fueron reportados por las EPS y SEDAPAL. Estas concentraciones elevadas afectan tanto los procesos de tratamiento de aguas residuales como el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles. (7)

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál será el porcentaje de la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de una planta de pinturas?

¿Cuál será la concentración óptima del sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton?

¿Cuál será la concentración óptima del peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el porcentaje de reducción de la DQO de las aguas residuales generadas en una planta de pinturas mediante el proceso Fenton.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de una planta de pinturas.

Determinar la concentración óptima del sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) para la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton.

Determinar la concentración óptima del peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) para la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton.

### **1.4 Justificación**

Los resultados que se obtendrán en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la planta de pintura ayudarán a mejorar la calidad de las aguas, el cual podrá permitir reducir la cantidad de carga orgánica aplicando el proceso de oxidación Fenton como una alternativa, impactando positivamente en los ecosistemas.

En estos últimos tiempos las empresas de pintura no suelen implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales en sus procesos, con este proyecto buscamos implementar una alternativa efectiva para la disminución significativa del riesgo de contaminación de las aguas del drenaje haciendo uso de este proceso de oxidación por su fácil aplicación, bajo costo de operación y su efectividad (según norma vigente).

### **1.5 Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1 Teórica**

Esta investigación está basada en la aplicación del proceso Fenton para la reducción de la DQO de las aguas residuales provenientes de una planta de pintura, mediante el Test de jarras con la finalidad de desarrollar un proceso apropiado para su escalamiento y aplicación posterior, que permita tratar todo el

volumen de agua generada contaminada en la planta, para cumplir con la normativa vigente.

### **1.5.2 Temporal**

El tratamiento para las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas se puede aplicar en cualquier época del año, en esta investigación se realizó las corridas experimentales entre los meses de junio y setiembre del presente año.

### **1.5.3 Espacial**

Las muestras del agua residual fueron obtenidas de la planta de pintura, antes del ingreso al sistema de alcantarillado; el tratamiento para la reducción de la DQO se realizó en el laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales SAC.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes: Internacional y nacional

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

En el artículo: “Investigation of the synergistic effect of the Fenton process on the paint industry wastewater treatment and optimization of independent process parameters” (Estambul, Turquía) los autores realizaron este estudio con la finalidad de determinar que el efecto sinérgico de la oxidación Fenton en la eliminación de la DQO proporciona una eficiencia de eliminación adicional en comparación con el potencial de oxidación real del  $H_2O_2$ . A su vez, buscaron optimizar los parámetros independientes como: tiempo, concentración de ion ferroso ( $Fe^{+2}$ ) y concentración de  $H_2O_2$  usando el método Taguchi correspondiente al software de Minitab. En cuanto a sus valores iniciales, la DQO oscila entre 6200 mg/L y 6600 mg/L, y color entre 24000 a 28000 en la escala de Pt/Co. Al realizar las pruebas experimentales, obtuvieron que la eficiencia de eliminación de la DQO fue del 69% (con un grado de efecto para el  $H_2O_2$ ,  $Fe^{+2}$  y tiempo de reacción del 12,01%, 23,87% y 21,67%, respectivamente) y de color del 98% (con un grado de efecto para el  $H_2O_2$ ,  $Fe^{+2}$  y tiempo de reacción del 15,08%, 19,00% y 22,42%, respectivamente). Además, demostraron que el efecto sinérgico de la oxidación Fenton alcanzó un 190% de eficiencia de eliminación adicional en comparación con el potencial de oxidación real del  $H_2O_2$ . (8)

En el artículo: “Evaluación del proceso Fenton para el tratamiento de un agua sintética coloreada empleando calamina” (Bogotá, Colombia) las autoras evaluaron la eficacia del proceso Fenton en la eliminación de colorantes sintéticos en las aguas residuales. Iniciaron los experimentos aplicando Fenton homogéneo para determinar la dosis óptima de  $H_2O_2$  y la relación óptima entre  $Fe^{+2}$  y  $H_2O_2$ . Luego, aplicaron Fenton heterogéneo, usaron como fuente de hierro y catalizador, calaminas provenientes de la elaboración de productos siderúrgicos, siendo la muestra óptima la del tipo 2 (alto carbono). Finalmente, empleando ambos procesos, lograron una degradación del colorante de 99.8%,

una eliminación del 86.3% de la DQO y del 54.8% de COT, con una concentración óptima de 15 g/L de calamina, 2.94 milimolar (100mg/L) de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, una relación óptima entre Fe<sup>+2</sup>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 1:10, un pH 3 y 6 horas de reacción. (9)

En el artículo: “Sustainable treatment of paint industry wastewater: Current techniques and challenges” (Karnataka, India) los autores tuvieron el objetivo de investigar exhaustivamente los distintos métodos de tratamiento actuales utilizados para el tratamiento de aguas residuales de la industria de pinturas, incluidas las técnicas de tratamiento fisicoquímico, biológico y químico, puesto que los estudios en referencia al tratamiento de este tipo de aguas residuales son insuficientes. Para tal investigación, analizaron las ventajas y desventajas de los métodos antes mencionados. Concluyeron su estudio, en que los procesos de oxidación avanzados junto con técnicas combinadas pueden ser un método potencialmente eficaz para abordar los desafíos que plantean las grandes aguas residuales provenientes de la industria de pinturas. (1)

En el artículo: “Procesos Fenton como tratamiento complementario para la remoción de tensoactivos y coliformes de aguas residuales domésticas” (Quito, Ecuador) los autores aplicaron el proceso Fenton convencional y modificado con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) con la finalidad de remover las concentraciones de tensoactivos y coliformes fecales presentes en la PTAR de Ubillús. Iniciaron la experimentación, con la caracterización química y microbiológica del agua. Al emplear el proceso Fenton convencional, obtuvieron una concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 124,4 mM; relación molar Fe<sup>2+</sup>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 1:20 y agitación continua de 130 rpm. Pasando de tener una concentración inicial de coliformes fecales de 66000 UFC/ mL a la inactivación total de estos bajo un t=15 min y de una concentración inicial de tensoactivos de 5,20 mg/L a 0,45 mg/L con un t=120 min. Continuaron, con la aplicación del proceso Fenton modificado con EDTA, bajo una concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 124,4 mM; relación molar EDTA: Fe<sup>2+</sup>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 1:1:20, agitación continua de 130 rpm y pH del efluente de 6,41. Pasando de tener una concentración inicial de coliformes fecales de 71000 UFC/ mL a la inactivación total de estos y de una concentración inicial de tensoactivos de 6,12 mg/L a 0,19 mg/L a los 15 min de tratamiento. Los autores concluyeron que la aplicación de ambos tratamientos fue de gran ventaja, ya que los valores

obtenidos estuvieron por debajo de los límites máximos según su normativa vigente. (10)

En el artículo: “Physico-chemical analysis of wastewater discharge from selected paint industries in Lagos, Nigeria” los autores evaluaron la eficiencia de las plantas de tratamiento de las aguas residuales provenientes de 5 empresas que fabrican pinturas (denominándolas como A, B, C, D y E) ubicadas en la ciudad de Lagos y así, determinar que cumplan la normativa del Ministerio Federal de Medio Ambiente (FME), Organismo mundial de la salud (OMS) y las directrices del Departamento de asuntos del agua (DWA). Para tal estudio, recolectaron las muestras considerando los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, OD, A&G, SST, TDS, nitratos, fosfatos, sulfatos, cloruros, metales y conductividad eléctrica. Cabe señalar que los autores emplearon diferentes métodos como el de reflujó abierto, dilución, gravimétrico, espectrofotométrico, etc., al analizar los parámetros mencionados. Los resultados obtenidos de la DQO de las aguas residuales generadas en las empresas A, B, C, D y E fueron de 1101 mg/L, 1198 mg/L, 6662 mg/L, 9412 mg/L and 9481 mg/L, respectivamente. Siendo así que las PTAR lograron una reducción de la DQO del 15.5%, 47.5%, 91.85%, 88% y 87% de las empresas A, B, C, D y E, respectivamente; pero Finalmente, los autores concluyeron que la eficiencia de las PTAR de estas empresas no es eficiente y que solo la PTAR de la empresa C tuvo un mejor desempeño a comparación de las otras. (11)

En la tesis doctoral: “Intensificación del Proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales” (Madrid, España), la autora realizó esta investigación con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso Fenton mediante el aumento de la temperatura y empleo del fenol como compuesto modelo, para tratar efluentes procedentes de los sistemas de refrigeración de una central térmica. En su metodología, la autora desarrolló sus ensayos de operación en discontinuo y semicontinuo, a altas temperaturas (25 – 130 °C), suministrando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en forma continua a altas concentraciones Fe<sup>2+</sup>. De manera que, logró la de reducción de la DQO en un 92%, a una T = 90°C, con un coste por kg de DQO eliminada de 1,05 €. Finalmente, la autora concluyó que el aumento de la temperatura supone un mejor aprovechamiento del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. (12)



### 2.1.2 Antecedentes nacionales

En la tesis: “Reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) aplicando el proceso Fenton en las aguas residuales del camal municipal de Calca - Cusco” el autor realizó este estudio con el objetivo de evaluar la eficacia del proceso Fenton en modo discontinuo para la reducción de la DQO en las aguas residuales del camal municipal de Calca. En su metodología utilizó un diseño factorial de 2 niveles y 3 variables, siendo las variables independientes: las dosis del  $\text{Fe}^{2+}$ , dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y los distintos niveles de pH, y la variable respuesta: el porcentaje de reducción de la DQO. Inició la parte experimental caracterizando de la muestra, obteniendo: DQO = 7402.79 mg/L., pH = 7.40, conductividad = 1036  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbiedad=7.55 NTU, aceites y grasas=116 mg/L y OD = 3.37 mg/L. Al aplicar el proceso Fenton, alcanzó una reducción del 97.36% respecto de la DQO con concentraciones óptimas de  $\text{Fe}^{2+}$  = 1234 mg/L y de  $\text{H}_2\text{O}_2$  = 709.65 mg/L a un pH = 4.5. El autor concluyó que este tratamiento es muy eficaz para el tratamiento de aguas residuales de camales con altos niveles de carga orgánica, considerando valores de DQO cercanos al mencionado. (13)

En la tesis: “Reducción de la demanda química de oxígeno de las aguas residuales provenientes de lavadoras mediante el método de electrocoagulación con electrodos de aluminio y acero inoxidable en el distrito de San Juan de Lurigancho en el año 2023” la autora realizó este estudio con el fin de evaluar la mejor condición de operación del método de electrocoagulación para reducir la DQO de las aguas residuales provenientes de lavadoras. El autor realizó la caracterización inicial de la muestra de agua y obtuvo lo siguiente: pH de 7.26; conductividad eléctrica de 1225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; DQO de 705.30 mg/L; turbidez de 206 NTU; sólidos totales suspendidos de 195 mg/L y color de 1095 Pt-Co. Durante la experimentación, realizó 6 corridas por duplicado, siendo con el tratamiento T-05 que se alcanzó un 63.94% de reducción de la DQO, considerando una intensidad de corriente de 4 A, distancia entre electrodos de 0.8 mm y tiempo de retención de 15 min. (14)

En la tesis “Remoción de DQO y DBO por oxidación Fenton en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022” la autora realizó esta investigación

con el objetivo de remover la materia orgánica recalcitrante mediante el POA Fenton. Para la parte experimental, realizó la caracterización del agua a tratar, obteniendo valores de DQO y DBO de 2878.39 mg/L y 1182.45 mg/L, respectivamente. Luego aplicó el test de jarras con concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 5, 10, 15, 20 y 25% y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml por triplicado, con una velocidad de agitación de 250 rpm y tiempo de 30 minutos. De tal manera, que logró la remoción de la carga orgánica bajo una dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 50ml al 25% de concentración, obteniendo valores de la DQO = 210.14 mg/l y DBO=191.92 mg/l, cumpliendo con los LMP- D.S N° 003-2002-PRODUCE. (15)

En la tesis “Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales” los autores seleccionaron 5 estudios en los que compararon la viabilidad y eficiencia de la oxidación avanzada Fenton tomando en cuenta la remoción de DQO y el costo de los reactivos. Mediante el análisis destacaron el estudio de Becerra y Cadena (2017), ya que presentó una mayor remoción de DQO equivalente a 97.16%, con una dosis óptima de reactivos: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 600mg/l y Fe<sup>+2</sup>=1000mg/L a T= 20°C, pH= 2.88, Muestra= 600ml y t=75min. (16)

En la tesis “Influencia de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el tiempo de tratamiento en la reducción de DQO de las aguas servidas por Fotocatálisis Heterogénea” los autores realizaron esta investigación para determinar la influencia entre el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el tiempo de tratamiento respecto a la reducción de la DQO. Par tal objetivo, trabajaron con un fotorreactor tubular de 6 tubos de vidrio, bajo concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 1,25; 3,00 y 4,75 mL/L; y tiempo de 3, 4 y 5 horas. Además, ajustaron el valor de TiO<sub>2</sub>=1mg/L y pH=5. Los autores concluyeron que la influencia del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y tiempo de tratamiento en la reducción de DQO alcanza un valor máximo de 35% para 1,7 mL/L y 5 horas y un valor mínimo de 10% para 4,5 mL/L y 3 horas, respectivamente. (17)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1. Aguas residuales industriales**

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración. Los líquidos residuales son aquellos que se derivan de la fabricación de productos, siendo principalmente disoluciones de productos químicos. (12)

Según sus vertidos acuosos las industrias pueden clasificarse en cinco grandes grupos:

- Industrias con efluentes principalmente orgánicos, como son las papeleras, azucareras, conserveras, lavanderías, producción de alimentos, farmacéuticas.
- Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos, como las coquerías, industrias químicas de base, refinerías y petroquímicas, producción de fertilizantes y la industria textil.
- Industrias con efluentes principalmente inorgánicos, como algunas industrias químicas de base, explotaciones mineras y salinas, industrias de limpieza y recubrimiento de metales.
- Industrias con efluentes con materias en suspensión, como lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de minerales, laminación y colada.
- Industrias con efluentes de refrigeración: centrales térmicas y nucleares.

Debido a las características de este tipo de vertidos, la vigilancia de los índices de contaminación convencionales, como demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión, microorganismos patógenos y nutrientes, ha dado paso en los últimos años a la consideración adicional de contaminantes específicos, entre los que destacan pesticidas, compuestos fenólicos, derivados halogenados y metales pesados, entre otros, que merecen una atención especial por su elevado carácter tóxico, problema

fundamental en el ámbito de los efluentes industriales procedentes del sector químico. (12).

### **2.2.2. Tratamiento de aguas residuales industriales**

Los procesos para el tratamiento de aguas residuales se basan en la eliminación de los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, el número de procesos existentes es también muy amplio; no obstante, estos procesos se pueden agrupar de acuerdo con el tipo de fenómeno o principio en el cual basan su operación. (18).

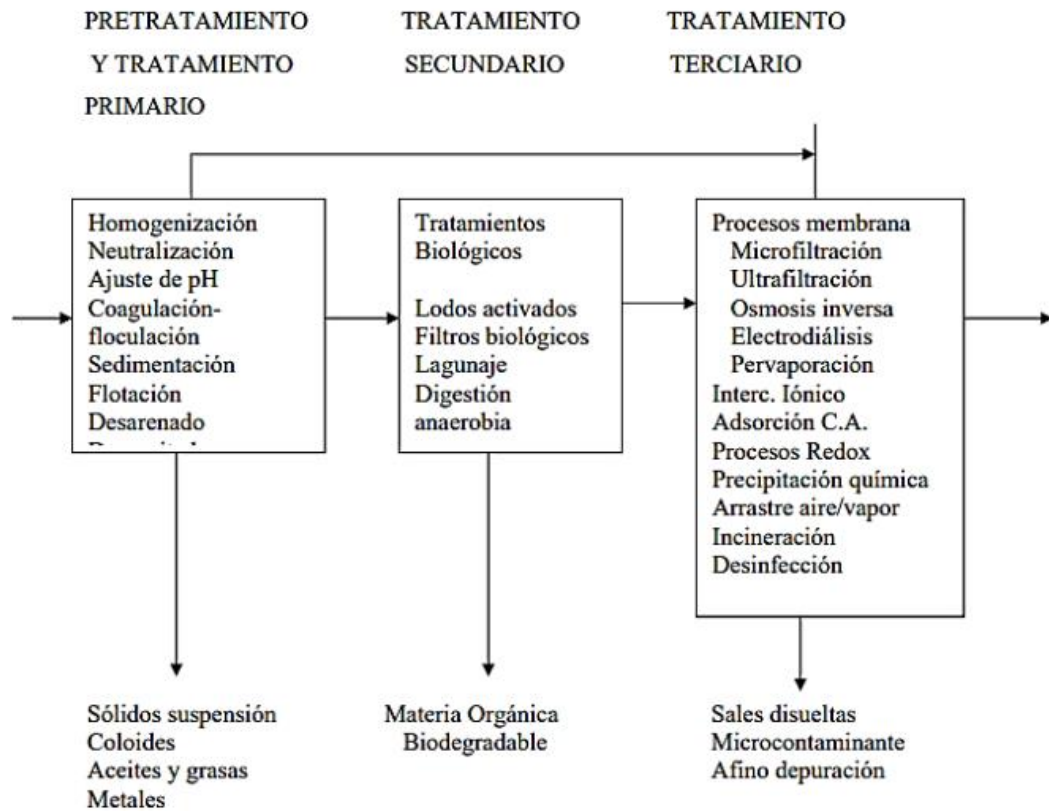
### **2.2.3. Clasificación del tratamiento de las aguas residuales**

Los niveles de tratamiento se clasifican en etapas de tratamiento, que comprenden: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento avanzado o terciario, desinfección y disposición de lodos. (19)

En la Figura 1 se presentan los diferentes tratamientos. Así como qué resultado se espera en cada nivel.

**Figura 1**

*Esquema de la clasificación de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales*



*Fuente: (19).*

#### **2.2.4. Tratamientos convencionales**

El tratamiento de efluentes se viene realizando desde la antigüedad, si bien se sabe que es importante para el desarrollo sostenible. Hay varios métodos de tratamiento, algunos han sido desarrollados porque evidentemente se han vuelto técnicas indispensables a la hora de realizar el tratamiento de aguas residuales. (20).

#### **Proceso de oxidación avanzada**

Los procesos químicos de oxidación avanzada usan oxidantes (químicos) para reducir los niveles de DBO/DQO, y para separar los componentes orgánicos y los componentes inorgánicos oxidables. Los procesos pueden oxidar totalmente

los materiales orgánicos hasta carbono,  $CO_2$  y agua; aunque a menudo no es necesario operar estos procesos hasta este nivel de tratamiento. Sin embargo, los procesos de oxidación avanzada a menudo tienen un capital y unos costos operacionales altos comparados con el tratamiento biológico. (21).

La tabla 1 presenta un resumen con los principales procesos de tratamiento de oxidación avanzada (POAs) utilizados en el tratamiento de aguas residuales con sus principales reacciones y productos químicos utilizados.

**Tabla 1**

*Principales POAs utilizados en el tratamiento de aguas residuales*

POAs	Reacciones	Producto químico utilizado
Ozonización	$O_3 + OH^- \rightarrow HO_2^- + O_2$ $O_3 + HO_2^- \rightarrow HO_2^0 + O_3^{-0}$	$O_3$
Fenton	$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + HO_2^0 + O_3^{-0}$	$Fe^{2+}$ $H_2O_2$
Foto-Fenton	$Fe(OH)^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + OH^0 (\lambda < 580nm)$ $H_2O_2 \rightarrow 2OH^0 (\lambda < 310nm)$	$Fe^{2+}$ $H_2O_2$ UV
Fotocatálisis	$TiO_2 \rightarrow e^- + h^+$ $TiO_2(h^+) + H_2O_{ad} \rightarrow TiO_2 + HO_{ad}^0 + H^+$ $TiO_2(h^+) + HO_{ad} \rightarrow TiO_2 + HO_{ad}^0$ $TiO_2(h^+) + RX_{ad} \rightarrow RX_{ad}^{0+}$	$TiO_2 / ZnO$ UV

*Fuente: (21).*

Los procesos de oxidación avanzada son particularmente apropiados para aguas residuales que contienen recalcitrantes, tóxicos o materiales no-biodegradables. Los procesos ofrecen algunas ventajas sobre los procesos físicos y biológicos incluyendo:

- Procesos de operatividad
- Operaciones desatendidas
- La ausencia de residuos secundarios

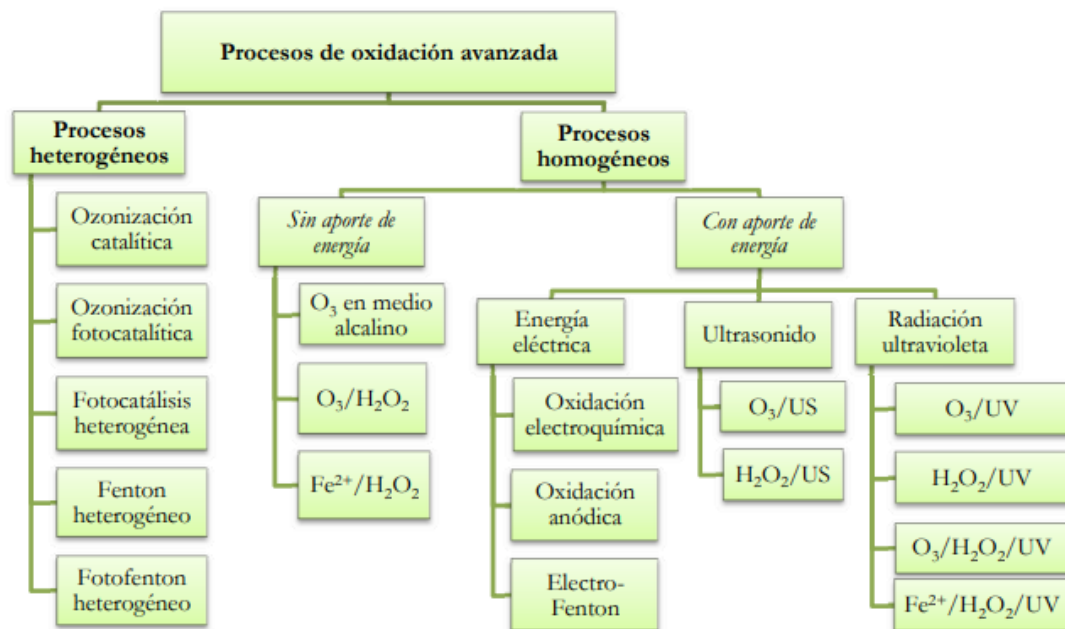
- La habilidad para manejar fluctuaciones de flujo impuestas, y composiciones.

La variante más indicada para cada aplicación es elegida en base a las propiedades químicas del agua residual.

En la figura 2 se presenta los procesos de oxidación avanzada.

**Figura 2**

*Clasificación de los procesos de oxidación avanzada*



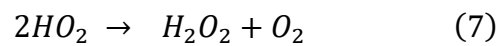
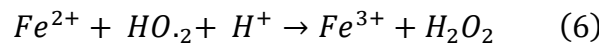
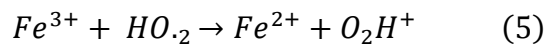
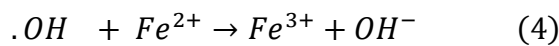
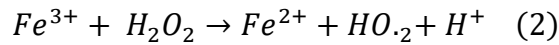
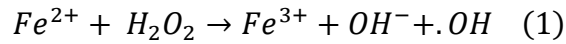
Fuente: (12).

### Mecanismo de reacción del proceso Fenton

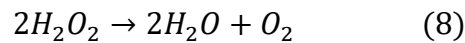
La reacción Fenton fue observada por primera vez por Fenton en 1894, y está basada en la transferencia electrónica entre el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el ion ferroso ( $Fe^{2+}$ ), que actúa como catalizador. (22)

La reacción Fenton se define como la generación catalítica de radicales hidroxilos mediante una serie de reacciones en cadena entre el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el ion ferroso ( $Fe^{2+}$ ), que actúa como un catalizador

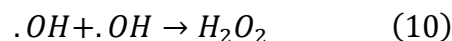
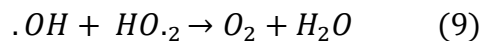
homogéneo. Según la definición anterior el mecanismo radicalario del proceso Fenton, en ausencia de materia orgánica, tiene lugar de acuerdo con las siguientes ecuaciones generándose rápidamente radicales hidroxilos mediante la reacción: (23)



La reacción neta de las ecuaciones [1-7] supone la descomposición del  $H_2O_2$  en agua y oxígeno, en presencia de hierro como catalizador. (23)



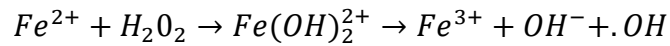
Aunque el ion  $Fe^{3+}$  puede ser reducido a  $Fe^{2+}$  mediante la reacción (2), dicha reacción es más lenta que la ecuación [1], por lo que se consume más rápidamente el  $Fe^{2+}$  de lo que se regenera. No obstante, pueden tener lugar reacciones competitivas que afectan negativamente a la reacción de oxidación, debido al consumo de los radicales hidroxilos del medio, tales como las reacciones [3], [4], [9] y [10]: (23)



La presencia en el medio de scavengers, tales como el  $CO_3^{2-}$  y el  $HCO_3^-$ , también perjudican al desarrollo de la reacción radicalaria, al consumir los radicales generados e impedir así su reacción con la materia orgánica. Sin embargo, algunos autores han observado que la presencia de altas concentraciones de

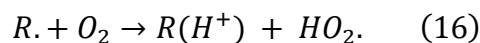
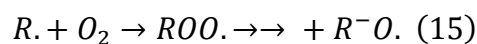
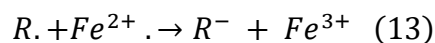
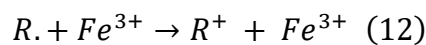
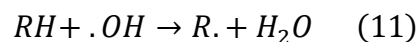


scavengers como el terc-butanol o iones clorados no produjo el descenso de velocidad de reacción esperado. Por el contrario, detectaron la presencia de intermedios oxidantes diferentes de los radicales hidroxilos, complejos de Fe denominados como  $Fe(OH)_2^{2+}$  predominando uno u otro dependiendo de las condiciones de operación. (23)



Mientras que los radicales hidroxilos pueden atacar a la materia orgánica mediante cuatro mecanismos: adición radicalaria a dobles enlaces, abstracción de hidrógeno, transferencia electrónica y combinación radicalaria los complejos de Fe únicamente pueden oxidar a la materia orgánica por transferencia electrónica. (23)

Por otro lado, el proceso de oxidación puede verse inhibido o ralentizado por la presencia de intermedios de reacción que afectan al ciclo  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  y, en vez de reducir el  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ , generan complejos de hierro, reduciendo la presencia de iones Fe en el medio. La reacción radicalaria entre la materia orgánica y el radical hidroxilo puede dar lugar a la formación de radicales orgánicos muy reactivos que, a su vez, pueden sufrir oxidaciones posteriores a compuestos más estables mediante su reacción con el ion  $Fe^{3+}$ , el oxígeno, el peróxido de hidrógeno, o más radicales hidroxilos, incluso hasta una mineralización total a agua y dióxido de carbono. (23).



## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1. Proceso Fenton

En este proceso la carga contaminante se trata con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton), típicamente a presión atmosférica y temperatura entre 20 °C y 40 °C. Siguiendo una apropiada política para el agregado del reactivo Fenton en condiciones ácidas y con la temperatura apropiada. (24).

El proceso puede alcanzar una significativa degradación de los contaminantes orgánicos, comprendiendo:

- I. Un cambio estructural de los compuestos orgánicos que posibilitan un eventual tratamiento biológico posterior.
- II. Una oxidación parcial que redundará en una disminución de la toxicidad del efluente.
- III. Una oxidación total de los compuestos orgánicos en sustancias inocuas que posibilitan una descarga segura del efluente sin necesidad de un posterior tratamiento.

El proceso de Fenton se puede clasificar como homogéneo y heterogéneo, como se muestra en la figura 3. En el proceso homogéneo de Fenton, los radicales hidroxilos se generan por la reacción de  $H_2O_2$  con iones ferrosos o iones de baja valencia como  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $Co^{2+}$ , que necesitan altas cantidades de iones ferrosos y peróxido de hidrógeno para una degradación completa o mineralización. En el proceso homogéneo de Fenton, se produce una cantidad excesiva de lodos y la recuperación de catalizadores de los lodos se vuelve difícil, otro inconveniente es mantener el pH en el rango de 2 a 4 para hacer frente a la formación de lodos. (21)

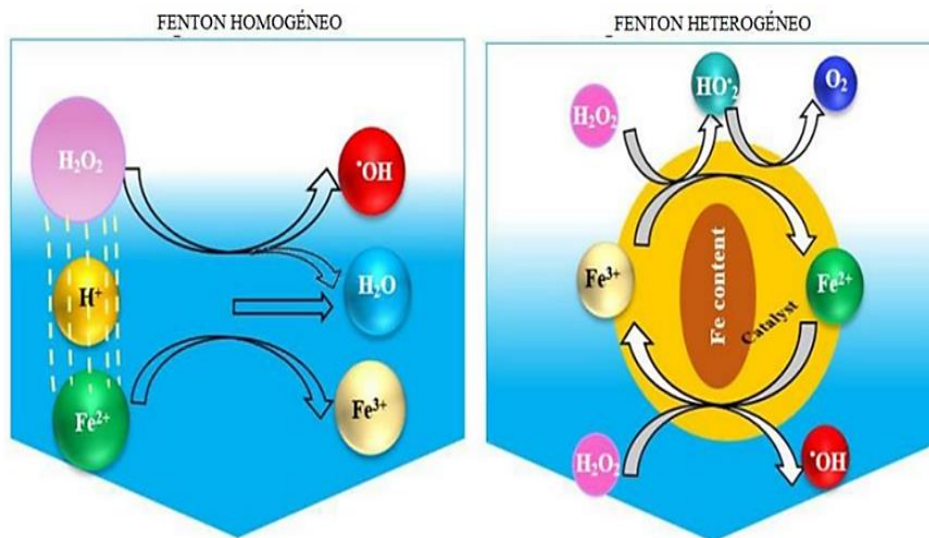
El proceso heterogéneo de Fenton es una buena alternativa para superar los inconvenientes anteriores cuando se emplean catalizadores sólidos que contienen hierro u otros catalizadores a base de metales de transición. El heterogéneo proceso Fenton tiene numerosas ventajas como menor lixiviación de hierro, no necesidad de mantener el pH para evitar la formación de lodos,

separación del catalizador, fácil recuperación, etc. Las combinaciones de metales como Cu-Fe, Al-Fe, etc., pueden mejorar el proceso de Fenton. (21)

En la figura 3 se presenta el proceso homogéneo y heterogéneo del proceso Fenton.

**Figura 3**

*Esquema de los procesos homogéneos y heterogéneos*



Fuente: (21)

### 2.3.2. Normativa legal aplicada al agua residual

**D.S. N°010-2019-VIVIENDA.** Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

### 2.4 Definición de términos básicos

#### Agua residual

Son las provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad original. (25)

### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, en medio ácido y condiciones energéticas por la acción de un agente químico oxidante fuerte. (26)

### **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. (27)

### **Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**

Es un compuesto químico, conocido como agua oxigenada, es agente altamente oxidante y desinfectante ecológico, cuando racionalmente se descompone en agua y oxígeno. (26)

### **Pintura**

La pintura se describe como un material de recubrimiento, ya sea en estado líquido o sólido, que se aplica sobre una superficie y, al secarse, se adhiere y forma una película. Generalmente, está compuesta por una combinación de disolventes, aditivos, resinas y pigmentos. (5)

### **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH o potencial de hidrogeniones es un parámetro que sirve para medir o expresar la acidez o la alcalinidad de un líquido. Se define como el exponente positivo de la concentración de los iones del Hidrógeno. (27)

### **Proceso Fenton**

El proceso Fenton ocurre cuando se agrega un catalizador de sal ferrosa soluble en agua y peróxido de hidrógeno en un medio ácido, sin necesidad de recurrir a altas presiones, temperaturas o equipos sofisticados. (28)

### **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Es el material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. Constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. (29)

### **Sulfato ferroso**

El sulfato ferroso es un coagulante eficaz en el tratamiento de agua potable y aguas residuales, se empaca como cristales o granos verdes fácilmente solubles en agua, reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso,  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , el cual es bastante soluble. Para que sea útil como coagulante debe existir la oxidación del ion ferroso en ion férrico insoluble. (29)

### **Valores Máximos Admisibles**

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aquellos valores que indican una concentración de sustancias, elementos o parámetros de las descargas que realizan las industrias en una red de alcantarillado. (30)

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis general y específicas

##### Hipótesis general

El proceso Fenton logra reducir la DQO de las aguas residuales proveniente de la planta de pinturas en un porcentaje mayor al 80%.

##### Hipótesis específicas

Las aguas residuales provenientes de una planta de pintura tienen valores de DQO mayores a los Valores Máximos Admisibles que van al alcantarillado sanitario.

La concentración óptima del sulfato ferroso en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pintura está entre 20 – 60 ppm.

La concentración óptima del peróxido de hidrógeno al 50% en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton está entre 660 – 1020 ppm.

#### 3.2 Operacionalización de variable

##### Variable Dependiente

**Y = Porcentaje de reducción de la DQO.** Medida del grado en que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) disminuye en un proceso de tratamiento de aguas residuales.

##### Variables Independientes

**X = Proceso Fenton.** Proceso de oxidación avanzada en el cual se producen radicales altamente reactivos del hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ). (31)

En la Tabla 2 presentamos la Operacionalización de variables.

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Método	Técnica
<b>Y= Reducción de la DQO</b>	Medida del grado en que la demanda química de oxígeno (DQO) disminuye en un proceso de tratamiento de aguas residuales.	Porcentaje de reducción de la DQO en el agua residual proveniente de la planta de pintura, tratada con el proceso Fenton.	Reducción de la DQO	Porcentaje de reducción de la DQO > al 80%	Cálculo	$\%R = \frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} \times 100\%$
<b>X= Proceso Fenton</b>	Proceso de oxidación avanzada en el cual se producen radicales altamente reactivos del hidroxilo (OH·) (31)	Proceso de oxidación avanzada para reducir la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pintura	DQO	DQO	SMEWW-APHA-AWWAWEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD)
			Concentración de FeSO <sub>4</sub>	20 ppm 40 ppm 60 ppm		
			Concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50%	660 ppm 840 ppm 1020 ppm		

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1 Diseño metodológico**

Este trabajo de investigación es de naturaleza aplicada ya que va a cubrir una necesidad a través del conocimiento científico.

Por su enfoque es cuantitativo porque se recolectarán datos para probar la hipótesis.

Por su nivel es explicativa porque existe una relación causa-efecto entre las dimensiones de la variable independiente y la variable dependiente.

Por su diseño es experimental, porque busca responder a la variable dependiente (Y) a través de la manipulación de la variable independiente (X).

El diseño experimental consta de 2 factores: concentración de sulfato con 2 niveles y concentración de peróxido con 2 niveles.

La tabla 3 muestra el Diseño experimental.



**Tabla 3***Diseño experimental*

<b>Tratamiento</b>	<b>Réplica</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>
T0	T0-M0	0	0
T1	T1-M1	20	660
	T1-M2	20	660
T2	T2-M1	20	840
	T2-M2	20	840
T3	T3-M1	20	1020
	T3-M2	20	1020
T4	T4-M1	40	660
	T4-M2	40	660
T5	T5-M1	40	840
	T5-M2	40	840
T6	T6-M1	40	1020
	T6-M2	40	1020
T7	T7-M1	60	660
	T7-M2	60	660
T8	T8-M1	60	840
	T8-M2	60	840
T9	T9-M1	60	1020
	T9-M2	60	1020

NOTA: El diseño experimental básico consta de 9 corridas con 2 repeticiones (18 corridas en total).

## **4.2 Método de investigación.**

El presente trabajo de investigación se realizó en 4 etapas.

### ***Primera Etapa: Caracterización del agua residual proveniente de una planta de pinturas.***

Se realizó la caracterización mediante un análisis fisicoquímico, considerando los parámetros físicos (temperatura y conductividad), asimismo los parámetros químicos (demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, sólidos suspendidos totales y turbidez) en el laboratorio LyL LAB SOLUTION S.A.C acreditado ante INACAL.

### ***Segunda Etapa: Tratamiento del agua residual mediante el proceso Fenton.***

Se realizó el tratamiento del agua residual proveniente de una planta de pintura mediante el proceso de oxidación avanzada Fenton con seguimiento a la demanda química de oxígeno (DQO) para determinar la mejor condición para lograr su reducción, mediante un ajuste de pH previo.

Se utilizó como muestra 50 L de agua residual proveniente de la planta de pintura, a temperatura ambiente de 18.7°C. Se ajustó su pH entre un rango de 2.5 a 4 y con una concentración de ácido sulfúrico de 98%.

### ***Tercera Etapa: Corridas experimentales para la verificación de las concentraciones óptimas***

Realizándose monitoreos en un tiempo aproximado de 2h por cada corrida experimental en un volumen constante de 1 L de muestra y mediante el diseño factorial se evaluó las dosis de peróxido de hidrógeno (660 ppm, 840 ppm, 1020 ppm) y las dosis de sulfato ferroso (20 ppm, 40 ppm, 60 ppm) para obtener resultados estadísticamente confiables teniendo 9 corridas con 2 repeticiones experimentales en total. Los resultados de cada tratamiento fueron anotados en una lista de datos como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4***Resultados de cada tratamiento*

<b>Tratamiento</b>	<b>Réplica</b>	<b>H2O2 (ppm)</b>	<b>FeSO<sub>4</sub> (ppm)</b>
T0	T0-M0	0	0
T1	T1-M1	660	20
	T1-M2	660	20
T2	T2-M1	840	20
	T2-M2	840	20
T3	T3-M1	1020	20
	T3-M2	1020	20
T4	T4-M1	660	40
	T4-M2	660	40
T5	T5-M1	840	40
	T5-M2	840	40
T6	T6-M1	1020	40
	T6-M2	1020	40
T7	T7-M1	660	60
	T7-M2	660	60
T8	T8-M1	840	60
	T8-M2	840	60
T9	T9-M1	1020	60
	T9-M2	1020	60

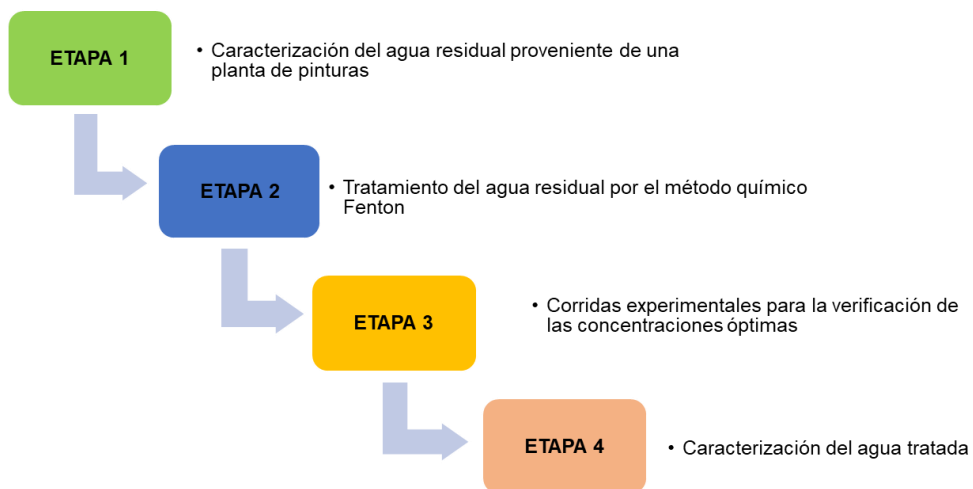
### ***Cuarta Etapa: Caracterización del agua tratada***

En la cuarta etapa se realizó la caracterización del agua tratada y se procedió a realizar el análisis y procesamiento de datos.

En la figura 4 se muestra el diagrama de las etapas experimentales.

**Figura 4**

*Etapas experimentales*



### **4.3 Población y muestra.**

#### **Población**

La población de nuestro estudio de investigación, está compuesta por las aguas residuales provenientes de una planta de pinturas, ubicada en el distrito de Pachacamac.

#### **Muestra**

La muestra que se tomaron para la caracterización y procesos de tratamientos fue de 50 L de aguas residuales provenientes de una planta de pinturas, ubicada en el distrito de Pachacamac.

#### 4.4 Lugar de estudio y período desarrollado

Los análisis de la caracterización del agua residual proveniente de una planta de pinturas se realizaron en las instalaciones del laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales SAC.

#### 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

##### 4.5.1. Técnicas Analíticas

En la caracterización para determinar los valores de los parámetros físicos (temperatura y conductividad) y parámetros químicos (demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, potencial de hidrogeno, sólidos suspendidos totales y turbidez) fueron enviados para su análisis al laboratorio LyL LAB SOLUTION S.A.C. acreditado por INACAL y las técnicas normalizadas para análisis de aguas potables y residuales se realizó de acuerdo al Standard Methods for the examination of water and wastewater 23rd edition, 2017. El parámetro de estudio de la demanda química de oxígeno (DQO), fue medido en base a técnica como se indica en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Técnica de análisis de la demanda química de oxígeno.*

Parámetro	Norma de referencia	Técnica de análisis
Demanda química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD).

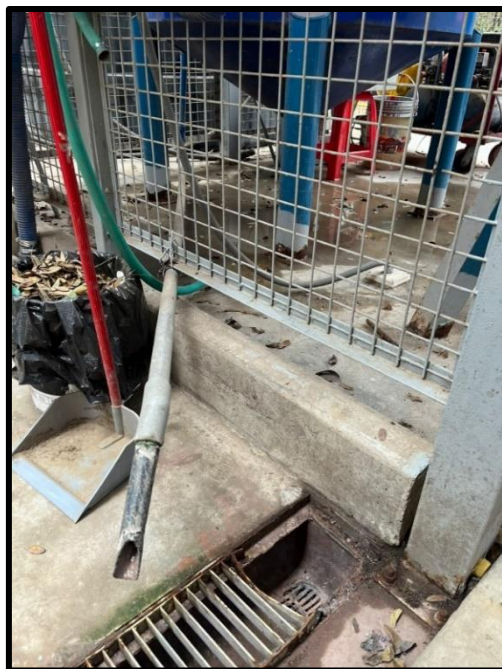
Nota: Adaptado de Standard Test Methods (2017).

##### 4.5.2. Procedimiento y desarrollo de las corridas experimentales

**Primera etapa: Muestreo del agua residual.** Se llevó a cabo la toma de muestras de las aguas residuales generadas en la planta de pinturas.

### **Figura 5**

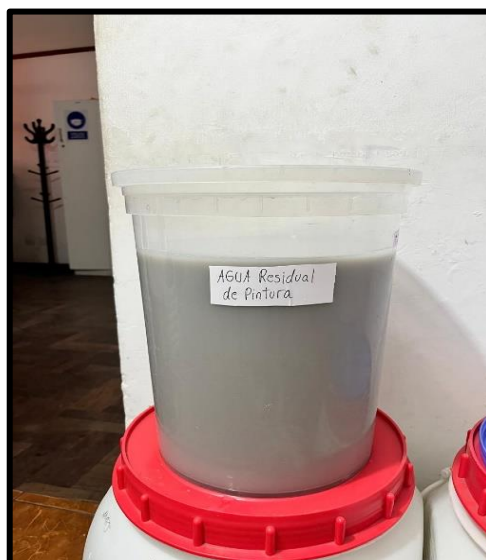
*Toma de muestra de agua residual de la planta de pinturas*



**Segunda etapa: Almacenamiento de la muestra.** La muestra fue llevada al laboratorio de SQA SAC, luego almacenada.

### **Figura 6**

*Muestra almacenada en el laboratorio*



**Tercera etapa: Caracterización del agua residual.** Los parámetros de pH, oxígeno disuelto, turbidez y la temperatura fueron analizadas con un equipo multiparámetro, y se preservaron muestras en envases de plástico para mandar a servicio de análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) en el laboratorio de LyL Lab Solution SAC

### **Figura 7**

*Muestra recolectada para el análisis de laboratorio*



### **Cuarta etapa: Elaboración de las corridas experimentales.**

Se realizaron los tratamientos según el diseño experimental. Se homogenizó manualmente el agua residual almacenada, ajustando el pH entre los valores de 2,5 a 4 con  $H_2SO_4$  (98%), para llevar a cabo la prueba de jarras con muestras de 1L cada una durante un tiempo aproximado de 2 horas.

**Figura 8**

*Test de jarras*



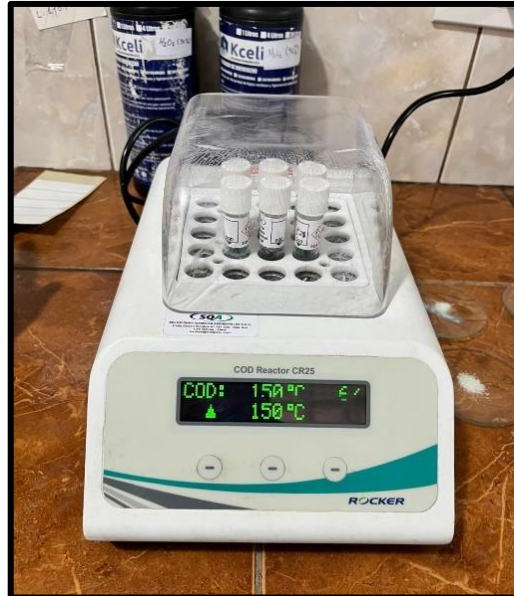
**Quinta etapa: Caracterización del agua tratada.**

Se tomaron las muestras del agua tratada obtenida en la prueba de jarras para el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO), con un previo ajuste del pH de 7 a 8.5 con NaOH (1N).



**Figura 9**

*Muestras preparadas en el reactor Rocker*



**Figura 10**

*Lectura de la DQO en el multiparámetro*



### 4.5.3. Equipos y materiales

#### **Materiales.**

- 6 vasos de precipitado de 1000 mL
- 2 vasos de precipitado de 500 mL
- Pipetas graduadas de 5 mL, 10 mL y 25 mL
- Propipeta
- Fiolas de 50 mL
- Lunas de reloj
- Espátula
- Picetas
- Baguetas
- Micropipetas 0.5 mL

#### **Equipos.**

- Test de jarras Marca: Velp Scientifica Modelo: JLT4
- Balanza de precisión. Marca: Electronic Balance Modelo: DP600-2C
- 01 peachimetro. Marca: Apera Instruments Modelo: PC8500. Medicion de pH
- 01 turbidimetro. Marca: PrimeLab Modelo: PrimeLab 2.0
- 01 multiparámetro. Marca: HACH. Modelo: HQ40D. Medición de ORP
- 01 colorímetro digital. Marca: HACH. Modelo: DR900. Medición de DQO usando viales con solución de digestión.
- 01 termoreactor digital. Marca: ROCKER. Modelo: CR-25. Digestión de la muestra de agua residual con los viales para determinación de DQO.
- 01 agitadores magnético. Marca: Rocker Modelo: MS 100
- 01 agitador magnético. Marca: Kyntel Modelo: MS 100

#### **Reactivos.**

- Agua destilada
- Peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 50% de concentración para la formación del reactivo Fenton.

- Sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) al 98 % de pureza como catalizador.
- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 98 %
- Hidróxido de sodio (NaOH) 1N
- Viales de digestión para DQO

#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos.**

Los datos se procesaron utilizando la estadística descriptiva e inferencial. La comprobación de las hipótesis se realizó utilizando las herramientas del software MINITAB 19 y hojas de cálculo de Excel.

#### **4.7 Aspectos éticos en investigación**

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el presente informe final de investigación.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Caracterización del agua residual

En la tabla 6 se muestra la caracterización fisicoquímica del agua residual antes del tratamiento (T0), los parámetros analizados fueron: la demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), sólidos suspendidos totales (SST), conductividad, temperatura y turbidez fueron obtenidos de un laboratorio certificado. De los cuales la DQO y SST fueron los parámetros que no cumplen con el DS-010-2019-VIVIENDA.

**Tabla 6**

*Caracterización inicial del agua residual muestreada*

Parámetro	Unidades	Agua residual (T0)	VMA para descarga al sistema de alcantarillado
Demanda química de oxígeno	mg/L	2770	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1970	500
Potencial de hidrógeno	-	7.45	6-9
Temperatura	°C	18.7	<35
Oxígeno disuelto	mg/L	2.79	-
Conductividad	us/cm	597	-
Turbidez	NTU	1327	-

Nota: Parámetros T0 obtenidos en el laboratorio acreditado LyL Lab Solution SAC.

### 5.1.2. Tratamiento del agua residual mediante el proceso Fenton

La tabla 7 muestra los resultados de la reducción de la DQO, aplicando diferentes dosis de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso en el proceso Fenton.

**Tabla 7**

*Reducción de la DQO en el proceso Fenton*

Tratamiento	Réplica	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)	FeSO <sub>4</sub> (ppm)	DQO promedio (ppm)	Promedio de reducción de la DQO (%)
T0	T0-M0	0	0	2770	0
T1	T1-M1	660	20	695	74.91
	T1-M2	660	20		
T2	T2-M1	840	20	860	68.95
	T2-M2	840	20		
T3	T3-M1	1020	20	580	79.06
	T3-M2	1020	20		
T4	T4-M1	660	40	467	83.14
	T4-M2	660	40		
T5	T5-M1	840	40	600	78.34
	T5-M2	840	40		
T6	T6-M1	1020	40	626	77.40
	T6-M2	1020	40		
T7	T7-M1	660	60	342	87.65
	T7-M2	660	60		
T8	T8-M1	840	60	574	79.28
	T8-M2	840	60		
T9	T9-M1	1020	60	630	77.26
	T9-M2	1020	60		

Nota: Bajo condiciones: T=18.7°C, pH=2.5-4, 100 rpm y t=2h.

Además, en la tabla 7, se muestra de eficiencia máxima en la reducción de la DQO con el tratamiento T7 bajo dosis de 660 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 60 ppm de FeSO<sub>4</sub>., el cual fue del 87.65%.

### 5.1.3. Caracterización del agua residuales después del tratamiento

De acuerdo con los parámetros analizados después del tratamiento en conjunto, mediante el proceso Fenton, estos cumplen con los Valores máximos admisibles para descarga de aguas residuales no domesticas al sistema de alcantarillado sanitario Decreto Supremo N° 010- 2019-VIVIENDA. En la Tabla 8, se muestra que la reducción de la demanda química de oxígeno fue del 87.65% y de los sólidos suspendidos totales fue del 76,90%.

**Tabla 8**

*Eficiencia de reducción de parámetros después del tratamiento por Fenton*

<b>Parámetro</b>	<b>VMA para descarga al sistema de alcantarillado</b>	<b>Agua residual</b>	<b>Agua residual tratada</b>	<b>Eficiencia de reducción (%)</b>
Demanda química de oxígeno (mg/L)	1000	2770	342	87.65
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	500	1970	15	99.24
Potencial de hidrogeno	6-9	7.45	7.32	-
Temperatura (°C)	<35	18.7	19	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	2.79	7.5	-
Conductividad (us/cm)	-	597	1200	-
Turbidez (NTU)	-	1327	10	-

## 5.2. Resultados Inferenciales

### 5.2.1. Prueba estadística de residuales en el proceso Fenton

En la Tabla 8 se presentan un total de 2 factores y 2 niveles en el diseño factorial. El diseño experimental se llevó a cabo por duplicado, resultando en un total de 18 corridas experimentales durante el proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales generadas por una planta de pintura. Para cada análisis estadístico, se utilizaron los promedios de las corridas experimentales.

**Tabla 9**

*Resumen del diseño factorial*

<b>Resumen de diseño</b>			
Factores	2	Réplicas	2
Corridas base	9	Total de corridas	18

Nota: En el diseño se realizó 9 tratamientos por duplicado, con un total de 18 corridas experimentales en total.

Para la prueba estadística se analizaron los residuos de los promedios de las corridas, se evaluaron las hipótesis estadísticas de éstos en base a la prueba de Anderson -Darling, que indica que los datos son normales cuando el valor p es alto (generalmente mayor que 0.05), lo que sugiere que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad.

$H_0$ : Los residuos tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los residuos no tienen una distribución normal.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0,05

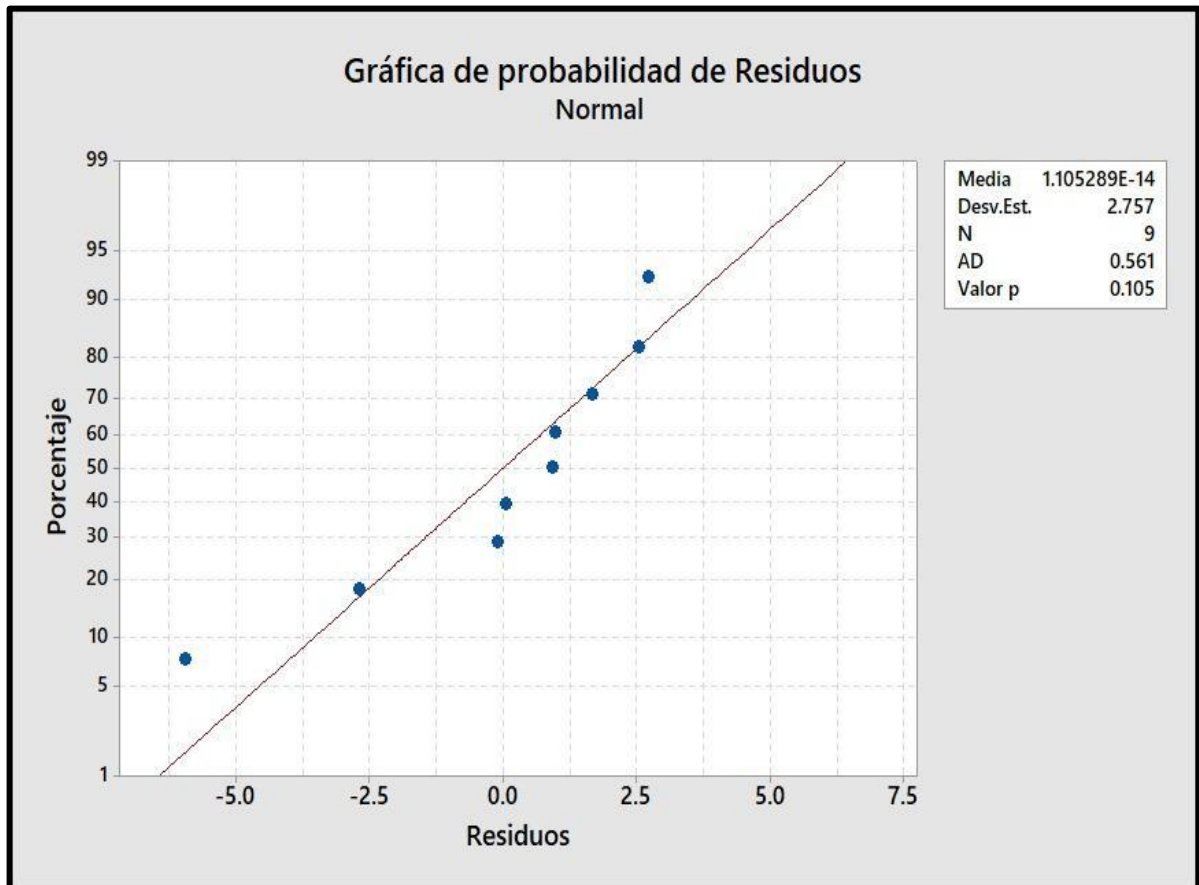
Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza  $H_0$ ; Si el valor  $p > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$

En la figura 11 se muestra los resultados de la prueba de Normalidad de residuos según Anderson - Darling para la reducción de DQO, lo cual se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos de coeficiente de correlación

(AD) = 0.561 y el valor de  $p = 0.105$  es mayor que el nivel de significancia de 0.05; por lo que se concluye que los datos siguen una distribución normal.

### Figura 11

Gráfica de probabilidad normal de residuos



Nota: Los resultados fueron obtenidos en el software estadístico Minitab19.

Para la condición de varianza en la tabla 9 muestra los resultados del análisis de varianza en lo cual se puede observar un valor  $p=0.079$ , por tanto, el modelo en su conjunto no es estadísticamente significativo al nivel del 95%.



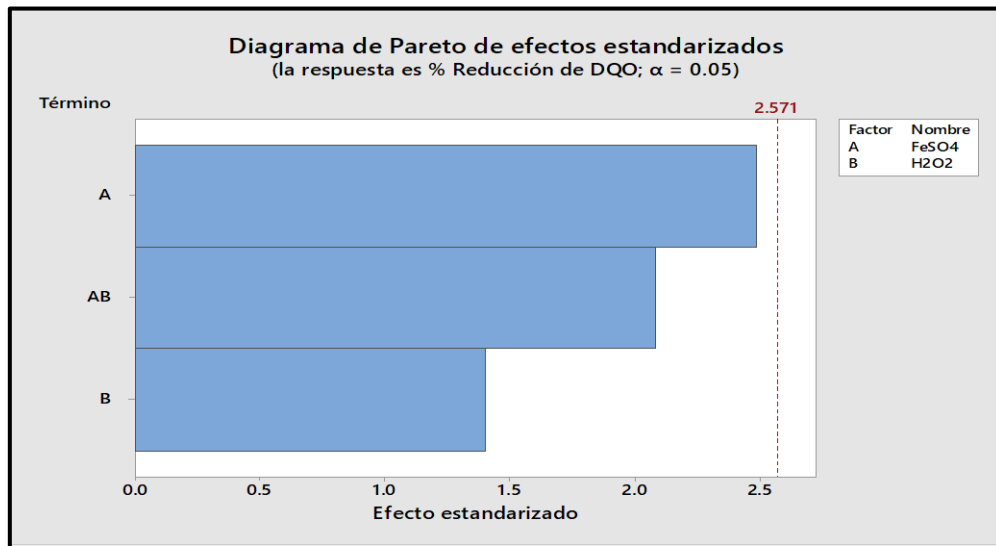
**Tabla 10***Análisis de varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	152.22	50.74	4.17	0.079
Lineal	2	99.30	49.65	4.08	0.089
FeSO <sub>4</sub>	1	75.36	75.36	6.20	0.055
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	23.94	23.94	1.97	0.220
Interacciones de 2 términos	1	52.92	52.92	4.35	0.091
FeSO <sub>4</sub> * H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	52.92	52.92	4.35	0.091
Error	5	60.81	12.16		
Total	8	213.03			

En la Figura 12 se observa que, al considerar únicamente los promedios de los resultados de las corridas experimentales, tanto la dosis de sulfato ferroso (A) como la dosis de peróxido de hidrógeno (B) no presentan una influencia significativa en la eficiencia porcentual de reducción de DQO. De igual manera, la interacción entre ambas dosis (AB) carece de un efecto significativo, dado que sus valores se encuentran por debajo del nivel de referencia de 2.571, con un nivel de significancia de 0.05.

**Figura 12**

*Diagrama de Pareto*



Nota: Los resultados fueron obtenidos en el software estadístico Minitab19.

### 5.2.2. Gráficas de efectos principales e interacción en el proceso Fenton

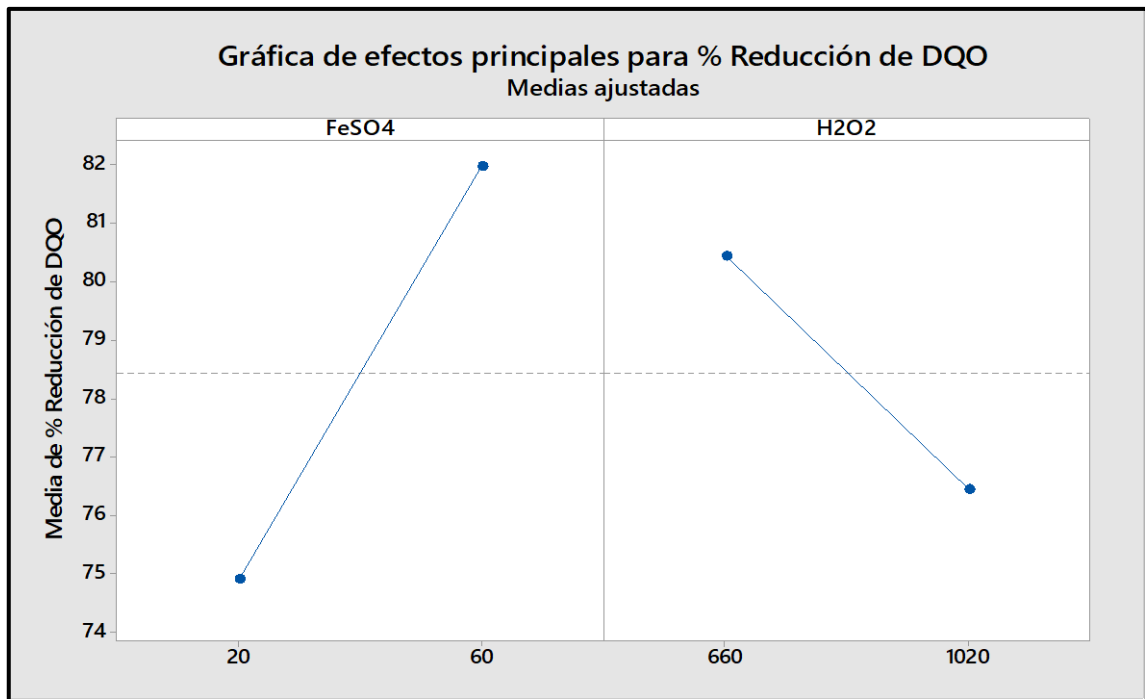
En la figura 13, la dosis de sulfato ferroso tiene un mayor efecto que la dosis de peróxido de hidrógeno.

A una dosis de 60 ppm de sulfato ferroso se logra obtener mayor porcentaje de reducción de DOQ en comparación a las dosis de 20 ppm y 40 ppm.

A una dosis de 660 ppm de peróxido de hidrógeno se logra obtener mayor porcentaje de reducción de DQO en comparación a las dosis de 840 ppm y 1020 ppm.

**Figura 13**

*Gráfica de efectos principales para el % de reducción de DQO*

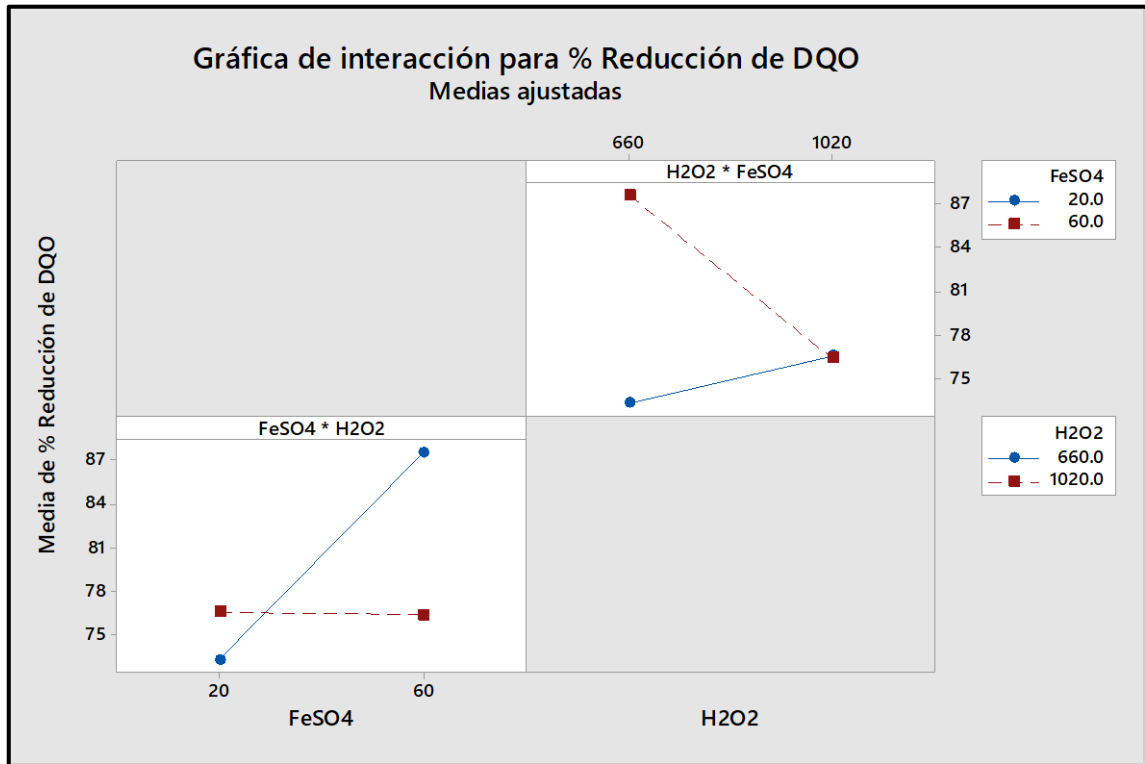


Nota: Los resultados fueron obtenidos en el software estadístico Minitab19.

En la figura 14, se obtiene un mayor porcentaje de reducción de la DQO a una dosis de 60 ppm de sulfato ferroso en combinación con una dosis de 660 ppm de peróxido de hidrógeno, en un tiempo de tratamiento total de 2 horas.

**Figura 14**

*Gráfica de interacción para el porcentaje de reducción de DQO*



Nota: Los resultados fueron obtenidos en el software estadístico Minitab19.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### Hipótesis general

El proceso Fenton logra reducir la DQO de las aguas residuales proveniente de la planta de pinturas en un porcentaje mayor al 80%.

Según los resultados observados en el capítulo V, podemos demostrar lo siguiente, los resultados obtenidos en la reducción de DQO alcanzó una eficiencia máxima de 87.65%, quedando demostrada la hipótesis planteada.

#### Hipótesis específicas

**H<sub>1</sub>:** Las aguas residuales provenientes de una planta de pintura tienen valores de DQO mayores a los Valores Máximos Admisibles que van al alcantarillado sanitario.

Según la primera hipótesis específica planteada, en la Tabla 6 se muestra la caracterización del agua residual proveniente de la planta de pintura donde el parámetro de DQO sobrepasa al valor máximo admisible (VMA), según norma DS 010-2019-VIVIENDA, contrastando y demostrando la hipótesis planteada.

**H<sub>2</sub>:** La concentración óptima del sulfato ferroso en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pintura está entre 20 – 60 ppm.

Según la segunda hipótesis específica planteada, en el proceso Fenton se obtuvo una mejor reducción de la DQO mediante la concentración óptima de 60 ppm de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), con el cual se logró un porcentaje de reducción de la DQO del 87,65% por 2h de tratamiento; demostrando la hipótesis planteada.

**H<sub>3</sub>:** La concentración óptima del peróxido de hidrógeno (al 50%) en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton están entre 660 ppm y 1020 ppm.

Según la tercera hipótesis específica planteada, en el proceso Fenton se obtuvo una mejor reducción de la DQO mediante la concentración óptima de 660 ppm de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), con el cual se logró un porcentaje de reducción de la DQO del 87,65% por 2h de tratamiento; demostrando la hipótesis planteada.

Según la contrastación de las hipótesis específicas se demostró la hipótesis general, ya que se logró un porcentaje de reducción de DQO mayor al 80%.

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Los autores del artículo: "Investigation of the synergistic effect of the Fenton process on the paint industry wastewater treatment and optimization of independent process parameters" (Estambul, Turquía) obtuvieron un resultado del 69% en la eliminación de la DQO, valor mucho menor que el obtenido en nuestra investigación, el cual fue de 87,65%. Además, demostraron el efecto sinérgico de la oxidación de Fenton en la eliminación de DQO proporciona una eficiencia de eliminación adicional que alcanza el 190% en comparación con el potencial de oxidación real del  $H_2O_2$ .

Observando la Tabla 7, podemos apreciar que el porcentaje más alto de la eficiencia de reducción de la DQO promedio después del tratamiento mediante el proceso de Fenton fue de 87,65%, dicho resultado es mayor al que obtuvieron los autores del artículo: "Evaluación del proceso Fenton para el tratamiento de un agua sintética coloreada empleando calamina" (Bogotá, Colombia), cuyo resultado fue del 86.3% en la eliminación de la DQO, del 54.8% % en la eliminación de COT y una degradación del colorante azul de metilo de 99.8%. Cabe señalar, que en este estudio los autores usaron como fuente de  $Fe^{+2}$ , calaminas provenientes de la elaboración de productos siderúrgicos, a pH=3 y 6 horas de reacción, mientras que en nuestro estudio el tiempo de reacción fue de 2 horas bajo un pH de 2.5 a 4.

En la caracterización de las muestras recolectadas del artículo: "Physico-chemical analysis of wastewater discharge from selected paint industries in Lagos, Nigeria" (Lagos, Nigeria), los valores de la DQO de las aguas residuales

generadas en las empresas A, B, C, D y E fueron de 1101 mg/L, 1198 mg/L, 6662 mg/L, 9412 mg/L y 9481 mg/L con una eficiencia de reducción del 15.5%, 47.5%, 91.85%, 88% y 87%, respectivamente. Mientras que en nuestro estudio se obtuvo un valor de DQO inicial de 2770 mg/L y una reducción del 87.65%. Además, en ambos estudios se realizaron comparativas con las normas vigentes de cada país.

En la tesis doctoral: “Intensificación del Proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales” (Madrid, España), se alcanzó un porcentaje de reducción de la DQO del 92% a  $T = 90^{\circ}\text{C}$ , mediante un tratamiento previo (utilizó fenol), mientras que en nuestro estudio la temperatura no tuvo influencia ni se requirió de tratamientos previos, y se obtuvo un porcentaje de reducción de la DQO del 87.65%. Además, en dicho estudio, la autora concluyó que el aumento de la temperatura supone un mejor aprovechamiento del  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

En la tesis “Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales” los autores obtuvieron una mayor remoción de DQO equivalente a 97.16%, con una dosis óptima de reactivos:  $\text{H}_2\text{O}_2 = 600\text{mg/l}$  y  $\text{Fe}^{+2} = 1000\text{mg/L}$  a  $T = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH} = 2.88$ , Muestra = 600ml y  $t = 75\text{min}$ , mientras que en nuestro estudio el porcentaje de reducción de la DQO fue menor (87,65%), bajo dosis óptimas de  $\text{H}_2\text{O}_2 = 660\text{ppm}$  y  $\text{Fe}^{+2} = 60\text{ppm}$  a  $t = 2\text{h}$ .

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes**

Como autoras de esta investigación, confirmamos nuestro compromiso con los reglamentos y procedimientos de la Universidad Nacional del Callao. Asumimos la responsabilidad por la información presentada en el trabajo titulado “Reducción de la demanda química de oxígeno en las aguas residuales de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton”. Los resultados del análisis de las aguas residuales fueron validados por el laboratorio acreditado LyL Lab Solution S.A.C. Además, la investigación se fundamentó en teorías y antecedentes de estudios previos, los cuales han sido correctamente citados, demostrando así la originalidad de nuestro trabajo.

## VII. CONCLUSIONES

El sistema Fenton logró reducir el porcentaje de la DQO de las aguas residuales en la planta de pintura a un 87.65% como máximo, bajo condiciones:  $T=18.7^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=2.5-4$ ,  $t=2\text{h}$  y 100 rpm.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica inicial del agua residual ( $T_0$ ) fueron los siguientes: la demanda química de oxígeno (DQO) fue de 2770 mg/L, los sólidos suspendidos totales (SST) alcanzaron los 1970 mg/L, el pH se registró en 7.45, la temperatura fue de  $18.7^{\circ}\text{C}$ , el oxígeno disuelto resultó 2 mg/L, la conductividad fue de 597  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la turbidez se midió en 1327 NTU.

Se logró determinar la concentración óptima de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) para la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton, cuyo valor fue de 60 ppm.

Se logró determinar la concentración óptima de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) para la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton, cuyo valor fue de 660 ppm.



## VIII. RECOMENDACIONES

Se sugiere:

Implementar una dosificación automática (ya sea de ácido o base) para controlar el pH de la muestra durante el proceso Fenton, utilizar los viales de digestión para DQO de rango alto para reducir el margen de error y realizar un tratamiento preliminar a la muestra de agua residual. para evitar eliminar la presencia de partículas y así lograr un mayor porcentaje de reducción de la DQO.

Estudiar con otros niveles de concentración de  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  para lograr un mayor porcentaje de reducción de la DQO.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NAIR, S, MANU, B y ADANI, A. "*Sustainable treatment of paint industry wastewater: Current techniques and challenges.*" Journal of Environmental Management. 2021, Vol. 296, ISSN:0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113105>
- [2] WHITLOCK, S. "*Effluent limitations guidelines and new source performance standards for the meat and poultry products point source category.*" United States Environmental Protection Agency. [En línea] 2004. [Citado el: 11 de noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.epa.gov/eg/meat-and-poultry-products-effluent-guidelines>.
- [3] BUSTILLO, C y MEHRVAR, M. "*Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances.*" Journal of Environmental Management. 2015, Vol. 161, págs. 287-302. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- [4] ALIAGA, S. "*Aplicación del proceso Fenton y Coagulación-Floculación para la regeneración de aguas depuradas.*" Zaragoza. Tesis de titulación, Universidad de Zaragoza. 2010. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/5122>
- [5] CRISTANCHO, A y NOY, A. "*Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia S.A.S.*" Bogotá. Tesis de titulación, Fundación Universidad de América. 2016.

- [6] NICHOLAS, N. *"Innovation in Industrial Wastewater Treatment— Sustainable Water Reuse Strategies Applied to the Paint/Pigment Dye Industry."* 2018. [Citado el: 11 de noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/innovation-industrial-wastewater-treatment-water-reuse-nicholas>.
- [7] ZELA, J y OLIVAS, G. *"Diagnóstico de las Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras 2022."* Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS. 2022.
- [8] APAYDIN, O, KURT, U y ILHAN, F. *"Investigation of the synergistic effect of the Fenton process on the paint industry wastewater treatment and optimization of independent process parameters."* Desalination and Water Treatment. 2023, Vol. 308, págs. 68-79. Disponible en: <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29401>
- [9] ACERO, J., AVENDAÑO, A y BERMUDEZ, A. *"Evaluación del proceso Fenton para el tratamiento de un agua sintética coloreada empleando calamina."* Ingeniería y competitividad. 2023, Vol. 25, 1, págs. 1-23. ISSN: 0123-3033. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.12105>
- [10] NARANJO, D, y otros. *"Procesos Fenton como tratamiento complementario para la remoción de tensoactivos y coliformes de aguas residuales domésticas."* Revista chilena de ingeniería. [En línea] 2021, Vol. 29, 2, págs. 364-377. ISSN: 0718-3305. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000200364>

- [11] TOLULOPE, A, y otros. "*Physico-Chemical Analysis of Wastewater Discharge from Selected Paint Industries in Lagos, Nigeria.*" International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021, Vol. 16, 1235. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph16071235>
- [12] PLIEGO, G. "*Intensificación del proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales.*" Madrid. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. 2012. Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/9041>
- [13] ZUÑIGA, M. "*Reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) aplicando el proceso Fenton en las aguas residuales del camal municipal de Calca - Cusco.*" Cusco. Tesis de titulación, Universidad Andina del Cusco. 2023.
- [14] VERA, M. "*Reducción de la demanda química de oxígeno de las aguas residuales provenientes de lavadoras mediante el método de electrocoagulación con electrodos de aluminio y acero inoxidable en el distrito de San Juan de Lurigancho en el año 2023.*" Lima. Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte. 2023.
- [15] ALCANTARA, R. "*Remoción de DQO y DBO por oxidación Fenton en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.*" Lima. Tesis de titulación, Universidad Nacional Federico Villarreal. 2022.
- [16] MARREROS, P y MELENDEZ, M. "*Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de*

- aguas residuales industriales.*" Lima. Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte. 2021.
- [17] INGA, L y LINO, A. "*Influencia de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el tiempo de tratamiento en la reducción de DQO de las aguas servidas por Fotocatálisis Heterogénea.*" Huancayo. Tesis de titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú. 2019.
- [18] BARROSO, M y ARIAS, L. "*Desarrollo de una propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales para la reducción de la DQO y DBO en la fábrica de Chocolates Triunfo S.A.*" Bogotá. Tesis de titulación, Fundación Universidad de América. 2018. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6720/1/6131981-2018-1-IQ.pdf>
- [19] ALTAMIRANO, M. "*Propuesta de tratamiento de aguas residuales en el centro de beneficio María de Fátima del distrito de La Victoria.*" Chiclayo. Tesis de titulación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. 2019. Disponible en: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2428>
- [20] PRADO, V. "*Aprovechamiento de aguas residuales en el patio taller de la Línea 1 del metro de Lima.*" Lima. Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina. 2015. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/home>.
- [21] HUAMÁN, K. "*Decoloración del agua residual proveniente de la industria textil artesanal por foto Fenton.*" Huancayo, 2021. Disponible en:

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP\\_d960f76c1acbd20ff30118e2889ca254](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_d960f76c1acbd20ff30118e2889ca254)

- [22] UMAR, M, AZIZ, H y YUSOFF, M. "*Trend in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate.*" Waste Management. 2010, Vol. 30, 11, págs. 2113-2121. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X10003430>
- [23] VILAR, A. "*Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos urbanos.*" Coruña. Tesis Doctoral, Universidade da Coruña, 2015.
- [24] ARANIBAR, R. "*Aplicación del reactivo Fenton para la remoción de DQO del lixiviado de un depósito de seguridad a escala laboratorio.*" Lima: Biblioteca Agrícola Nacional, 2016. Disponible en: <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/3105>
- [25] PERÉZ, S. "*Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico.*" Lima, Tesis de titulación, Universidad César Vallejo. 2018. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25136>
- [26] CALDERÓN, V. "*Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales por electrocoagulación, con adición de peróxido de hidrógeno, en un reactor tubular.*" Huancayo. Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú. 2018. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5165>

- [27] ARELLANO, L. *"Humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual doméstica en el caserío Ternique-Piura."* Piura. Tesis de titulación, Universidad César Vallejo. 2017. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32282>
- [28] MEDINA, C y MONTERO, E. *"Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios."* Revista de la Sociedad Química del Perú. 2017, Vol. 82, 4, págs. 454-466. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2016000400007&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2016000400007&script=sci_arttext&tlng=es)
- [29] MASSELLA, L. *"Comparación de la eficiencia del sulfato de aluminio y el sulfato ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario."* Guatemala: Biblio Ingeniería USAC, 2014. Disponible en: <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T12301.pdf>
- [30] DECRETO SUPREMO N°010-2019-VIVIENDA. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. s.l.: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019.
- [31] KOPPENOL, W. *"The centennial of the Fenton reaction."* Free Radical Biology & Medicine. 1993, Vol. 15, págs. 645-651.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

#### “REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DE UNA PLANTA DE PINTURAS MEDIANTE EL PROCESO FENTON”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>GENERAL:</p> <p>¿Cuál será el porcentaje de la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Determinar el porcentaje de reducción de la DQO de las aguas residuales generadas en una planta de pinturas mediante el proceso Fenton.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>El proceso Fenton logra reducir la DQO de las aguas residuales proveniente de la planta de pinturas en un porcentaje mayor al 80%.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>Y = Reducción de la DQO.</p>	<p>Niveles de reducción de la demanda química de oxígeno</p>	<p>Porcentaje de reducción de la DQO &gt;80%</p>	<p>Tipo: aplicada</p> <p>Enfoque: cuantitativo</p> <p>Nivel: explicativo</p> <p>Diseño: experimental</p>
<p>ESPECÍFICO:</p> <p>1. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de una planta de pinturas?</p> <p>2. ¿Cuál será la concentración óptima del sulfato ferroso en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton?</p> <p>3. ¿Cuál será la concentración óptima del peróxido de hidrógeno en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton?</p>	<p>ESPECÍFICO:</p> <p>1. Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de una planta de pinturas.</p> <p>2. Identificar la concentración óptima del sulfato ferroso para la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton.</p> <p>3. Identificar la concentración óptima del peróxido para la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton.</p>	<p>ESPECÍFICO:</p> <p>1. Las aguas residuales provenientes de una planta de pintura tienen valores de DQO mayores a los Valores Máximos Admisibles que van al alcantarillado sanitario.</p> <p>2. La concentración óptima del sulfato ferroso en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pintura está entre 20 – 60 ppm.</p> <p>3. La concentración óptima del peróxido de hidrógeno al 50% en la reducción de la DQO de las aguas residuales proveniente de una planta de pinturas mediante el proceso Fenton están entre 660 – 1020 ppm.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>X = Proceso Fenton</p>	<p>DQO</p>	<p>DQO</p>	
			<p>Concentración de FeSO<sub>4</sub></p>	<p>20 ppm 40 ppm 60 ppm</p>	<p>Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50%</p>	



## Anexo 2. Informe de ensayo



**LAB SOLUTION**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y MONITOREO AMBIENTAL

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE- 156



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado  
Registro N° LE - 156

### INFORME DE ENSAYO

#### N° 240564

**Datos del Cliente :**

Nombre del cliente : YANINA MELISSA ALIAGA HUATUCO  
 Dirección del cliente : JAZMINES DE PALAO MZ. G LT. 10 - SAN MARTIN DE PORRES  
 Solicitado por : YANINA MELISSA ALIAGA HUATUCO  
 Proyecto : MONITOREO DE AGUA RESIDUAL  
 Muestreo realizado por : L&L LAB SOLUTION S.A.C.  
 Procedencia de la muestra : PACHACAMAC  
 Cantidad de muestras y presentación : 01 PUNTO DE MONITOREO

**Datos del Laboratorio:**

Referencia : COTIZACIÓN N°: CS.3-24-0009 / ORDEN DE SERVICIO N°: OS.3-24-0006  
 Plan de muestreo : PM-24- 235  
 Producto : AGUA  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 02/08/2024  
 Fecha de Ejecución de Ensayo : 01/08/2024 AL 08/08/2024  
 Fecha de emisión del Informe : 12/08/2024

**I. RESULTADOS**

<b>Código de Laboratorio</b>	240564-01
<b>Código de Cliente</b>	P-1:PTP 1
<b>Tipo de Producto</b>	Agua Residual Industrial
<b>Fecha de Muestreo</b>	1/08/2024
<b>Hora de Muestreo</b>	08:45
<b>Ubicación Geográfica (WGS 84)</b>	N: 8446797 E: 0296881
<b>Descripción de la Estación de Muestreo</b>	No Indica

<b>Lugar de Ensayo : Laboratorio</b>			
<b>Tipo Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>Resultados</b>
<b>Fisicoquímica</b>			
Sólidos totales suspendidos	mg/L	6	1970

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método,  
 "(z)"=Resolución cuantificable del equipo, "—" = No Analizado,  
 "<"= Menor que el L.C.M. indicado, ">" = Mayor al valor indicado.

<b>Código de Laboratorio</b>	240564-01
<b>Código de Cliente</b>	P-1:PTP 1
<b>Tipo de Producto</b>	Agua Residual Industrial
<b>Fecha de Muestreo</b>	1/08/2024
<b>Hora de Muestreo</b>	08:45
<b>Ubicación Geográfica (WGS 84)</b>	N: 8446797 E: 0296881
<b>Descripción de la Estación de Muestreo</b>	No Indica

<b>Lugar de Ensayo : Laboratorio</b>			
<b>Tipo Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>Resultados</b>
<b>Química Instrumental</b>			
Demanda Química de oxígeno	mg/L	4.3	2770

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método,  
 "(z)"=Resolución cuantificable del equipo, "—" = No Analizado,  
 "<"= Menor que el L.C.M. indicado, ">" = Mayor al valor indicado.

## INFORME DE ENSAYO N° 240564

<b>Código de Laboratorio</b>	240564-01
<b>Código de Cliente</b>	P-1:PTP 1
<b>Tipo de Producto</b>	Agua Residual Industrial
<b>Fecha de Muestreo</b>	1/08/2024
<b>Hora de Muestreo</b>	08:45
<b>Ubicación Geográfica (WGS 84)</b>	N: 8446797 E: 0296881
<b>Descripción de la Estación de Muestreo</b>	No Indica

Lugar de Ensayo : Campo			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados
<b>Fisicoquímica</b>			
Conductividad	µS/cm	0.01 <sup>(2)</sup>	597
Oxígeno disuelto	mg/L	0.1 <sup>(2)</sup>	2.0
pH	U pH	0.01 <sup>(2)</sup>	7.45
Temperatura	°C	0.1 <sup>(2)</sup>	18.7

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método.  
<sup>(2)</sup>=Resolución cuantificable del equipo, "—" = No Analizado,  
 "<"= Menor que el L.C.M. indicado, ">" = Mayor al valor indicado.

### II - MÉTODOS Y REFERENCIAS

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
<b>Fisicoquímica</b>		
Sólidos totales suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th.Ed. 2023	Solids. Total, Suspended Solids Dried at 103-105° C.
<b>Química Instrumental</b>		
Demanda Química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th.Ed. 2023	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
<b>Análisis de Campo</b>		
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th.Ed. 2023	Conductivity. Laboratory Method
Oxígeno disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O H, 24th.Ed. 2023	Oxygen, Dissolved (Optical-Probe Method)
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 H+ B, 24th.Ed. 2023	pH Value. Electrometric Method
Temperatura	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 24th.Ed. 2023	Temperature. Laboratory and Field Methods

## INFORME DE ENSAYO N° 240564

### III. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Para el presente Informe se utilizaron los siguientes procedimientos de monitoreo PQ-OPE-00, PQ-OPE-01, PQ-OPE-11, PQ-OPE-05, PQ-OPE-07.

### IV. OBSERVACIONES

La(s) muestra(s) recepcionadas se encuentran cumpliendo lo establecido en la tabla del PQ-OPE-03 Métodos, preservantes y tiempo de vida.



Firmado digitalmente por:  
PINO OLIVERA LAURA  
STEFFANY FIR 72004453 hard  
Motivo: Doy V° B°  
Fecha: 15/08/2024 15:32:50-0500

FIN DEL DOCUMENTO



Los resultados del presente informe de ensayo son válidos para las muestra referidas en el informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los métodos de ensayos presentados en el informe son acordes al alcance de los métodos correspondientes. El tiempo de custodia y precibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra. Ante cualquier modificación o adición de muestras del método, se debe proceder con el procedimiento PQ-COM-01 Revisión de solicitudes, ofertas y contratos. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si L&L LAB SOLUTION S.A.C no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal cómo fueron recepcionadas. L&L LAB SOLUTION S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de L&L LAB SOLUTION S.A.C.



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N° 024-2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

CLIENTE	:	YANINA ALIAGA
MATRIZ	:	AGUA
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	:	AGUA RESIDUAL DE INDUSTRIA DE PINTURA
MUESTREADO POR	:	CLIENTE
CANTIDAD DE MUESTRA	:	18
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	:	07-09-2024
FECHA DE FIN DE LOS ENSAYOS	:	07-09-2024
FECHA DE EMISION DE INFORMES	:	12-09-2024



Ing. Eduardo Molina Rodríguez  
CIP N°224227



SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N° 024-2024

### II. RESULTADOS

PROCEDENCIA DE MUESTRA				AGUA RESIDUAL DE INDUSTRIA DE PINTURA								
DESCRIPCION DE MUESTRA				AGUA RESIDUAL TRATADA CON PROCESO FENTON								
FECHA Y HORA DE MUESTREO				07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024	07/09/2024
				11:30	11:30	11:30	13:35	13:35	13:35	16:00	16:00	16:00
ENSAYO	L.C.M	unidad	Corrida	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
DQO	5.00	mg/L	1	696	866	578	469	588	624	340	572	632
DQO	5.00	mg/L	2	694	854	582	465	612	628	344	576	628

Fecha: 12/09/2024

Correo: [ventas@sqaperu.com](mailto:ventas@sqaperu.com)

Página 2 de 3



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N° 024-2024

"L.C.M.": Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

### III. METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method

### Anexo 3. Resultados experimentales de la DQO

Tratamiento	Corrida	FeSO <sub>4</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)	DQO (ppm)	Eficiencia de reducción de la DQO (%)	DQO promedio (ppm)	Promedio de reducción de la DQO (%)
T0	0	0	0	2770	0	2770	0
T1	1	20	660	696	74.87	695	74.91
	2	20	660	694	74.95		
T2	1	20	840	866	68.74	860	68.95
	2	20	840	854	69.17		
T3	1	20	1020	578	79.13	580	79.06
	2	20	1020	582	78.99		
T4	1	40	660	469	83.07	467	83.14
	2	40	660	465	83.21		
T5	1	40	840	588	78.77	600	78.34
	2	40	840	612	77.91		
T6	1	40	1020	624	77.47	626	77.40
	2	40	1020	628	77.33		
T7	1	60	660	340	87.73	342	87.65
	2	60	660	344	87.58		
T8	1	60	840	572	79.35	574	79.28
	2	60	840	576	79.21		
T9	1	60	1020	632	77.18	630	77.26
	2	60	1020	628	77.33		

#### Anexo 4. Costo del tratamiento del agua residual

Para determinar el costo de tratamiento del agua residual, se debe calcular los gastos de insumos químicos utilizados. Siendo las dosis suministradas de los insumos:

- Dosis de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ): 60 mg/L
- Dosis de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ): 1.1 mL/L, siendo su densidad al 50% de concentración de 1.2 g/mL.

$$\text{H}_2\text{O}_2 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{1.1 \frac{\text{mL}}{\text{L}} \times 1.2 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} \times 50\%}{\frac{1\text{gr}}{1000\text{mg}}} = 660 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Dosis de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ): 0.5 mL/L, siendo su densidad al 50% de concentración de 1.52 g/mL.

$$\text{NaOH} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{0.5 \frac{\text{mL}}{\text{L}} \times 1.52 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} \times 50\%}{\frac{1\text{gr}}{1000\text{mg}}} = 380 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para tratar 1 L de agua residual el costo es de S/ 0.12, como se muestra en la Tabla 11


**Tabla 11**

*Costo de tratamiento del agua residual*

Insumos	Costo unitario (soles/kg)	Dosis (mg/L)	Costo total (soles/L)
$\text{FeSO}_4$	70	60	0.004
$\text{H}_2\text{O}_2$	45	660	0.030
$\text{NaOH}$	240	380	0.091
<b>Total</b>		<b>S/.</b>	<b>0.125</b>



Anexo 5. Instructivo para la determinación de la DQO

 <b>SQA</b> SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES SAC	<b>PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO</b>			
	<b>CÓDIGO</b>	SQA-AL-22	<b>INICIO DE VIGENCIA</b>	17/09/2023
	<b>VERSIÓN</b>	02	<b>PÁGINA</b>	1 de 7
<h1 style="text-align: center;">Titulo:</h1> <h2 style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO</h2>				
	<b>CARGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	
<b>ELABORADO POR:</b>	Asistente de Laboratorio	Daniel Arcondo Crisanto		
<b>REVISADO POR:</b>	Coordinador de Laboratorio	Jose Basurto Milla		
<b>APROBADO POR:</b>	Supervisor de Proyectos	Frank Martínez Linares		

## 1. OBJETIVO

El objetivo es garantizar la correcta medición de la demanda química de oxígeno DQO en muestras de agua residual, para todos los colaboradores de la especialidad de química e ingeniería química.

## 2. ALCANCE

Aplicable para el análisis de agua residual.

## 3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.

Los siguientes equipos, materiales y reactivos son necesarios:

- Termoreactor
- Colorímetro o Espectrofotómetro
  - El equipo debe contar con la curva previamente instalada.
  - El equipo debe tener compartimiento para viales.
- Viales con reactivo para DQO rango bajo o alto.
- Gradillas
- Fiola
- Micropipeta

a)



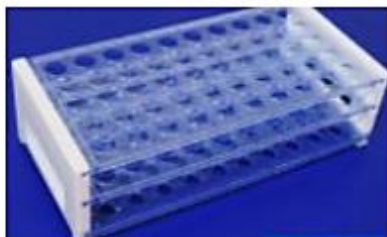
b)



c)



c)



d)



e)





SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

FECHA DE VIGENCIA | 17/09/2021

## PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO

CÓDIGO	SQA-AL-08
VERSIÓN	01
PÁGINA	3 de 7

### 4. MUESTREO Y ALMACENAMIENTO DE LA MUESTRA

- Recolectar como mínimo 100ml de muestra en frasco de vidrio o plástico de primer uso.
- Homogeneizar las muestras que contienen sólidos para obtener una muestra representativa.
- Si el análisis es inmediato < 2 horas, no es necesario preservar ni conservar.
- Si no es posible el análisis inmediato, la muestra se debe preservar con ácido sulfúrico concentrado (aproximadamente 2 ml por litro) hasta llevar el pH < 2. Luego conservarla a 6°C hasta un máximo de 28 días.

### 5. PROCEDIMIENTO:

#### 5.1. Preparación de la muestra

#### 5.1.2. Procedimiento de digestión reactor y medición



**1. Encender el reactor y precalentar a 150°C.**



**2. Preparar la muestra:** Retire el tapón de un vial para el rango seleccionado. Mantenga el vial en un ángulo de 45 grados. Usar una pipeta limpia para añadir 2,50 ml de muestra al vial.



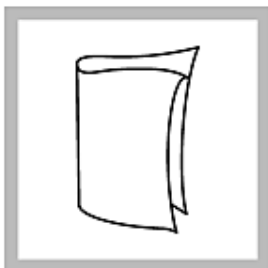
**3. Preparar el blanco:** Retire la tapa de un segundo vial para el rango seleccionado. Mantenga el vial en un ángulo de 45 grados. Usar una pipeta limpia para añadir 2,50 ml de agua desionizada al vial.



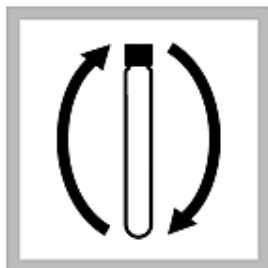
FECHA DE VIGENCIA 17/09/2021

## PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO

CÓDIGO	SQA-AL-08
VERSIÓN	01
PÁGINA	4 de 7



4. Cierre los viales herméticamente. Enjuagar los viales con agua y limpiar con una toalla desechable de papel limpia.



5. Sujete los viales por la tapa y agitar con fuerza. **Tener cuidado: los viales se calientan con rapidez.**



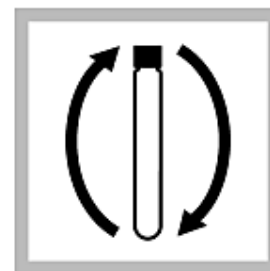
6. Colocar los viales en el reactor que esta precalentado a 150°C, luego cerrar tapa.



7. Calentar los viales durante 2 horas a 150°C, presionar la tecla START para iniciar el tiempo.



8. Cuando se completa las 2 horas de digestión dejar que los viales se enfríen en el reactor aproximadamente 20 minutos hasta llegar a 120 ° C o menos.



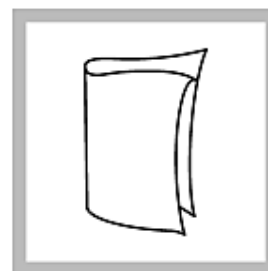
9. Invierta cada vial varias veces mientras todavía está caliente.



10. Colocar los viales en una gradilla de tubos y dejar enfriar a temperatura ambiente.



11. Iniciar el programa en modo DQO.



12. Limpiar la celda del blanco de muestra.

"El presente documento está prohibido su copia sin aprobación de la empresa Soluciones Químicas Ambientales SAC"



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

FECHA DE VIGENCIA 17/09/2021

## PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO

CÓDIGO	SQA-AL-08
VERSIÓN	01
PÁGINA	5 de 7



13. Inserte el blanco en el soporte de la celda.



14. Presione la tecla **CERO**. La pantalla muestra 0 ó 0.0 mg / l de DQO.



15. Limpiar la celda de la muestra preparada.



16. Insertar la muestra preparada en el soporte de celda.



17. Presione la Tecla **LEER**. Los resultados muestran en mg / l de DQO.



18. Si ha diluido la muestra **multiplicar el resultado por el factor de dilución.**



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

FECHA DE VIGENCIA | 17/09/2021

## PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO

CÓDIGO	SQA-AL-08
VERSIÓN	01
PÁGINA	6 de 7

### 6. Interferencias

- ✓ El cloruro es la interferencia primaria en este procedimiento de ensayo. Cada vial de DQO contiene sulfato mercurico que elimina la interferencia de cloruro al nivel especificado en la [Tabla 2](#).

Tabla 1. Tabla límites de concentración de cloruro en la muestra

Rango de Vial	Nivel de Cl <sup>-</sup> (mg máximo / L)
LR (0-80 mg / L) // (0-150 mg/L)	2000
HR (0-800 mg / L) // (0-1500mg/L)	2000

- ✓ El nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) tiene una DQO de 1,1 mg de O<sub>2</sub>/mg de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y como las concentraciones de (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) rara vez son mayores de 1 o 2 mg de N- NO<sub>2</sub><sup>-</sup> . La interferencia es considerada insignificante y a menudo ignorada

### 7. Dilución en el análisis de DQO

- Se puede realizar una dilución no solo para reducir la concentración de DQO de la muestra que se está probando, de modo que se encuentre dentro del rango de medición, sino también para ayudar a eliminar las interferencias de otras sustancias que pueden estar presentes en la muestra que pueden alterar el análisis.
- Una interferencia es un compuesto que puede sumar o restar del resultado del análisis. Para el caso particular de la Demanda Química de Oxígeno, los principales interferentes son los cloruros presentes en solución. Al realizar una dilución en una muestra, puede reducir la sustancia interferente hasta un punto en el que ya no interfiere con la prueba.

"El presente documento está prohibido su copia sin aprobación de la empresa Soluciones Químicas Ambientales SAC"



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

FECHA DE VIGENCIA | 17/09/2021

## PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO

CÓDIGO | SQA-AL-08

VERSIÓN | 01

PÁGINA | 7 de 7

### 8. Procedimiento de dilución

- De acuerdo al valor esperado de DQO, seleccionar un volumen de muestra a diluir según la Tabla N° 1.
- Use una micropipeta para agregar el volumen V1 a una fiola volumétrica de 50 mL.
- Enrase la fiola volumétrica con agua destilada hasta la marca correspondiente.
- Mezclar bien. Use la muestra diluida como la muestra a medir según el procedimiento regular.





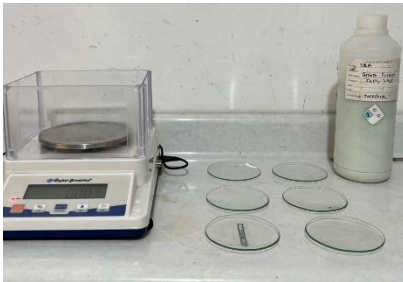

*Tabla N°2: Selección de volumen de muestra a diluir*

Rango de DQO	Volumen de muestra (V1)	Volumen de agua destilada (hasta línea de enrase)	Factor de dilución
20 – 800 mg/L	No requiere dilución		
801 – 1,600 mg/L	25 mL	25 mL	2
1,601 – 4,000 mg/L	10 mL	40 mL	5
4,001 – 8,000 mg/L	5 mL	45 mL	10
8,001 – 16,000 mg/L	2.5 mL	47.5 mL	20
16,001 – 40,000 mg/L	1 mL	49 mL	50
40,001 – 80000 mg/L	0.5 mL	49.5	100





#### NOTA:

- Al resultado obtenido de DQO con la muestra diluida se debe multiplicar por el factor de dilución correspondiente.
- Tener en cuenta que los datos obtenidos de la tabla N°2 fue elaborada con una fiola de 100 mL.

**Anexo 6. Registro fotográfico de la experiencia en laboratorio**

<b>CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA INICIAL</b>		
<b>Medición de los siguientes parámetros iniciales</b>		
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	<b>pH</b>	<b>Potencial de Oxido Reducción (ORP)</b>
		
<b>Pesado y medición de los siguientes reactivos</b>		
<b>Peróxido de hidrógeno (<math>H_2O_2</math>) al 50%</b>	<b>Sulfato ferroso pentahidratado (<math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math>)</b>	<b>Ácido sulfúrico (<math>H_2SO_4</math>) al 98 %</b>
 <p><b>NOTA:</b> Medición de <math>H_2O_2</math> de 20 mg/L, 40 mg/L y 60 mg/L.</p>	 <p><b>NOTA:</b> pesado de <math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math> de 660 mg/L, 840 mg/L y 1020 mg/L.</p>	 <p><b>NOTA:</b> Se usó para bajar el PH.</p>



<b>Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO)</b>		
Test de jarras	Adición de reactivos a las muestras	Control de parámetros
	 <b>NOTA:</b> Adición de sulfato y peróxido.	 <b>NOTA:</b> Control de Ph y ORP.
Sedimentación de muestras	Diluciones de muestra	Agregado de muestra a cada Vial de DQO
 <b>NOTA:</b> durante 10 minutos	 <b>NOTA:</b> Dilución por el rango de medición de DQO	 <b>NOTA:</b> Agregado de 2,5 mg/L de agua residual tratada a los Viales.
Digestión de los viales en el reactor	Viales a temperatura de ambiente	Medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)



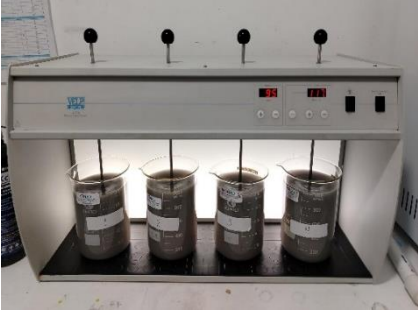





**NOTA:** Por un tiempo de 2 horas a 150°C.






**NOTA:** Medición de la DQO por el colorímetro.

## Anexo 7. Materiales y equipos

<b>MATERIALES</b>		
<b>Vasos precipitados de 1000 mL</b>	<b>Vasos precipitados de 500 mL</b>	<b>Pipetas</b>
		
<b>Propipeta</b>	<b>Fiola</b>	<b>Lunas de reloj</b>
		
<b>Espátula</b>	<b>Piseta</b>	<b>Bagueta</b>
		

<b>EQUIPOS</b>	
<b>Test de jarras</b>	<b>Balanza de precisión</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Velp Scientifica</li> <li>• Modelo: JLT4</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Marca:</b> Electronic Balance</li> <li>• <b>Modelo:</b> DP600-2C</li> </ul> 
<b>Phmetro</b>	<b>Turbidimetro</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Apera Instruments</li> <li>• Modelo: PC8500</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Marca:</b> PrimeLab</li> <li>• <b>Modelo:</b> PrimeLab 2.0</li> </ul> 
<b>Multiparámetro</b>	<b>Colorímetro digital</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: HACH</li> <li>• Modelo: HQ40D</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Marca:</b> HACH</li> <li>• <b>Modelo:</b> DR900</li> </ul> 

Termoreactor digital	Agitadores magnéticos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: ROCKER</li> <li>• Modelo: CR-25</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Marca:</b> Kyntel</li> <li>• <b>Modelo:</b> MS 100</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Marca:</b> Rocker</li> <li>• <b>Modelo:</b> MS 100</li> </ul> 

## Anexo 8. Fichas técnicas

- Ficha técnica de peróxido de hidrógeno al 50% de concentración.





**PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 50%**
FICHA TÉCNICA

<b>Nombre comercial</b>	Peróxido de Hidrógeno	
<b>Peso molecular</b>	34.01 g/mol	
<b>Fórmula química</b>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
<b>Apariencia</b>	Líquido incoloro traslucido	

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Pureza, %	Mín. 50.0	Q-M-LCOM-16

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Acidez libre, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Máx. 0.06 %	ACS
Residuo por evaporación	Máx. 0.12 %	ACS

**PRESENTACIONES**

Bidones 30 y 35 Kg, IBC 1100 kg y 1150 kg

**CONDICIONES DE USO Y ALMACENAJE**



Almacenar en su envase original



Mantener en lugares secos y bajo techo



Proteger del sol



No comer, beber, ni fumar.



Mantener fuera del alcance de niños y animales

Para información adicional, consultar con la hoja de seguridad del producto.  
 Aris Industrial S.A. garantiza que al momento de emitir esta ficha técnica el producto cumple con la especificación declarada. Es responsabilidad del comprador determinar que el producto cumple con los requisitos para su uso, incluyendo mediante la realización de pruebas de aplicación, así como de tomar todas las medidas de seguridad razonables.

Fecha de emisión: 3001/2024  
 Versión: 01

Av. Industrial 491 Lima, Perú  
 (511) 336 5428 A. 5517 | vquimicos@aris.com.pe | www.quimicos.aris.com.pe



- Ficha técnica sulfato ferroso heptahidratado al 98% de pureza.





# ARIS

**SULFATO FERROSO**
FICHA TÉCNICA

<b>Nombre comercial</b>	Sulfato Ferroso Heptahidratado	
<b>Peso molecular</b>	278.05 g/mol.	
<b>Fórmula química</b>	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	
<b>Apariencia</b>	Cristales verdosos	

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Pureza, %	Mín. 98.0	Q-M-COM-10
Hierro, %	Mín. 19.0	Q-M-COM-10

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Óxido de Titanio, %	Máx. 0.5	Q-M-LINS-16

**CONTENIDO DE METALES**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Plomo, ppm	Máx. 120	Q-M-LINS-16
Cadmio, ppm	Máx. 3.0	Q-M-LINS-16
Mercurio, ppm	Máx. 1.0	Q-M-LINS-16
Arsénico, ppm	Máx. 40	Q-M-LINS-16



Imagen referencial

**PRESENTACIONES**  
Bolsa de 25 kg.

**CONDICIONES DE USO Y ALMACENAJE**



Almacenar sobre pallets



Mantener en lugares secos y bajo techo



Proteger del sol



No comer, beber, ni fumar.





Mantener fuera del alcance de niños y animales

Para información adicional, consultar con la hoja de seguridad del producto. Aris Industrial S.A. garantiza que al momento de emitir esta hoja técnica el producto cumple con la especificación declarada. Es responsabilidad del comprador determinar que el producto cumple con los requisitos para su uso, incluyendo mediante la realización de pruebas de aplicación, así como de tomar todas las medidas de seguridad razonables.

Fecha de emisión: 31/07/2024  
Versión: 01


Av. Industrial 491 Lima, Perú  
(511) 336 5428 A. 5517 | [uquimicos@aris.com.pe](mailto:uquimicos@aris.com.pe) | [www.quimicos.aris.com.pe](http://www.quimicos.aris.com.pe)

- Ficha técnica de hidróxido de sodio

### Technical Data Sheet

**Item number: 1.09141**  
**Sodium hydroxide solution**  
 according to Reag. Ph. Eur.



**Technical data:**

- Concentration: 0.1 mol/l
- Density: 1.00 kg/l
- Packaging: 4l-Titripac and 10l-Titripac
- Shelf life: 3 Years

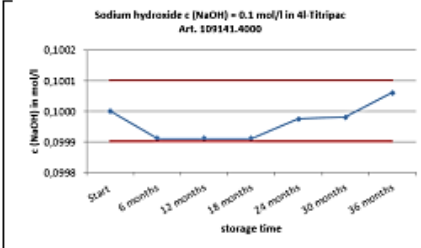
**Stability of sodium hydroxide volumetric solution (item number: 1.09141) in a Titripac®:**

Volumetric solutions contain reagents that react quantitatively with the substance to be measured in the sample solution. The concentration of the volumetric solution is indicated by the molarity (mol reagent per l solvent). For the optimal consumption per titration the concentration of the volumetric solution should be chosen according to the expected concentration of the sample. A standardisation (titer determination) with a volumetric standard is recommended to correct for all influences on the measurement results arising from lab conditions, equipment and handling.

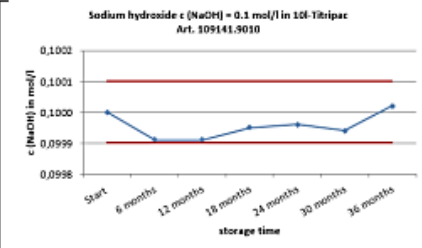
To demonstrate the stability of this sodium hydroxide volumetric solution the Titripac® was tested under daily routine conditions.

Every six months the concentration of the sodium hydroxide solution was determined by titration with hydrochloric acid standard solution (item number 1.09060) which was standardized against volumetric standard tris(hydroxymethyl)aminomethane (item number 1.02408).

The following diagrams show the measured concentration of sodium hydroxide solution (item number 1.09141) in a Titripac 4l and 10l over the shelf life of 36 months.



Sodium hydroxide c (NaOH) = 0.1 mol/l in 4l-Titripac  
Art. 109141.4000



Sodium hydroxide c (NaOH) = 0.1 mol/l in 10l-Titripac  
Art. 109141.9010

<p><b>Ordering Information:</b></p> <p>Sodium hydroxide solution Sodium hydroxide solution</p>	<p><b>Ordering Number:</b></p> <p>1.09141.4000 (4l-Titripac®) 1.09141.9010 (10l-Titripac®)</p>
--	--

The Titripur® materials are produced and analyzed by Merck KGaA, Darmstadt, Germany.

1 / 2





## Technical Data Sheet

The diagrams on page 1 show the concentration of sodium hydroxide volumetric solution 0.1mol/l in between the range of 0.0999mol/l and 0.1001mol/l over the shelf life of three years. The solution is stable in both packages (Titripac 4l and 10l). The calculation of the concentration is done according to the following equation:

$$c(x)_{\text{actual value}} = c(x)_{\text{indicated value}} \cdot t$$

$c(x)$  indicated value = concentration as specified by the supplier

$t$  = titer of the volumetric solution

$c(x)$  actual value = concentration after correction for the titer

The titer as correction factor depends on lab conditions, equipment and handling.

The titer determination is carried out with volumetric standards or with standard solutions calibrated directly against volumetric standards.

Volumetric solutions are temperature sensitive. Therefore the titer changes with the temperature. Thus it is recommended to do the titer determination at the same temperature as the following sample titration.

The titer determination of a volumetric solution is essential for precise sample measurements. Errors due to titer determination affect the following measurements as systematic deviation.

### Instructions for use of a Titripac®:

Open the Titripac® by pressing on the pre-cutted area.

(Do not use a knife for opening because you can easily damage the inner bag of the Titripac®.)

Take the installed tap out of the box and fix it by closing the pre-cutted area.

By opening the tap, solution can be withdrawn without the risk of contamination.

Finally the Titripac® can be connected directly to the titrator by means of a small adapter and a hose with a thread on both sides.

Hose and adapter can be ordered under item number 1.88075.0001.

- Ficha técnica del Colorímetro de marca Hach, modelo DR 900

## DR 900 HANDHELD COLORIMETER



### Applications

- Drinking Water
- Wastewater
- Industrial Water

### Fastest and simplest water testing for the most demanding field environments.

The hand-held DR 900 allows quick and easy access to your most-used testing methods. This colorimeter is waterproof, dustproof and field durable. With an intuitive user interface, easy data transfer abilities, and the ability to test up to 90 of the most commonly tested water methods, the DR 900 makes water testing in harsh field environments a little less challenging.

#### Your Favorites at Your Fingertips

Save time by storing your most standard methods for quick access in less than 4 clicks.

#### Field Ready in Every Way Possible

This hand-held, rugged colorimeter is waterproof and dustproof. Drop tested and shock resistant for greater quality assurance.

#### Intuitive User Interface

Improved user interface allows quick selections and easier testing.

#### Simple Data Communication

Stores data for up to 500 tests, and comes with a USB port for easily downloading or transferring information.

#### Satisfies Your Core Testing Needs

A single hand-held instrument provides access to 90 of the most common parameters.



### Specifications\*

<b>Source Lamp</b>	Light Emitting Diode (LED)
<b>Wavelength Range</b>	420 nm, 520 nm, 560 nm, 610 nm
<b>Wavelength Selection</b>	Automatic
<b>Operating Mode</b>	Transmittance (%), Absorbance and Concentration
<b>Sample Cell Compatibility</b>	1 inch round or 16 mm round (with adapter)
<b>Data Logger</b>	500 measured values (Result, Date, Time, Sample ID, User ID)
<b>Enclosure Rating</b>	IP67 (vial cover closed)
<b>Battery Requirements</b>	4, AA size alkali cells
<b>Battery Life</b>	6 months (typical) @ 5 readings a day / 5 days / week without backlight**
	** Backlight usage will decrease battery life
<b>Display</b>	Graphical display 240 x 160 pixel (Backlit)

### User Interface Languages

English, French, German, Italian, Spanish, Portuguese, Bulgarian, Chinese, Czech, Danish, Dutch, Finnish, Greek, Hungarian, Japanese, Korean, Polish, Romanian, Russian, Slovenian, Swedish, Turkish

### Interface

USB type Mini IP67

### Dimensions (H x W x D)

9.1 in x 3.8 in x 1.9 in  
(231 mm x 96 mm x 48 mm)

### Weight

1.32 lbs. (0.6 kg) with battery

### Includes

DR 900 Colorimeter, two 1-inch glass sample cells marked at 10, 20 and 25 mL, two 1 cm plastic sample cells, 1 x 16-mm COD/Test 'N Tube™ adapter, 4 AA alkaline batteries, printed multilingual instrument manual, instrument and procedure manuals on CD, USB Mini to USB Cable, European CE mark.

\*Subject to change without notice.

### Ordering Information

**9385100** DR 900 Handheld Colorimeter

#### Accessories

- 2722000** Instrument Carrying Case, soft-sided, with shoulder strap
- 4942500** Instrument Carrying Case, hard-sided, style G
- 4943000** CEL Portable Laboratory Carrying Case
- 2763900** DR/Check Absorbance Standard Kit (Set of 4)
- 2635300** SpecCheck Secondary Gel Standards Set, DPD Chlorine - LR
- 2980500** SpecCheck Secondary Gel Standards Set, DPD Chlorine - MR
- 2893300** SpecCheck Secondary Gel Standards Set, DPD Chlorine - HR
- 2712500** SpecCheck Gel Secondary Standard Set, Fluoride
- 2708000** SpecCheck Gel Secondary Standard Set, Ozone, MR
- 2507500** SpecCheck Secondary Gel Standards Set, Monochloramine & Free Ammonia.



### HACH COMPANY World Headquarters: Loveland, Colorado USA

United States: 800-227-4224 tel 970-669-2932 fax orders@hach.com  
 Outside United States: 970-669-3050 tel 970-461-3939 fax int@hach.com  
 hach.com

LIT2810  
 F13 Printed in U.S.A.  
 ©Hach Company, 2013. All rights reserved.  
 In the interest of improving and updating its equipment,  
 Hach Company reserves the right to alter specifications to equipment at any time.



- Ficha técnica del Reactor de digestión de marca Rocker, modelo CR25

Water Analysis / COD Reactor

# COD Reactor



### Features

- ▶ **ISO compliant**  
CR 25 COD reactor is used to digest closed reflux COD vial according to ST-COD method (ISO 15705:2002) and can meet USEPA 410.4. It is easier and safer than traditional open reflux titrimetric method.
- ▶ **Designed for COD tests**  
CR 25 is pre-programmed with 6 heating programs for quick and easy start. Most popular programs include:  
(1) COD : 150°C, 120 min (Standard mode)  
(2) COD2 : 165°C, 20 min (Preheated mode)
- ▶ **User-definable programs**  
Built-in with 2 user-definable programs that allows manual adjustments for temperature (30°C ~ 200°C) and time (1 ~ 999 min).
- ▶ **Programmable timer & beep alarm**  
CR 25 stops heating automatically with beeping alarm after the program is complete.
- ▶ **International certification**  
CE certification
- ▶ **One-Year Warranty**

### Applications

- ▶ Waste water test from factories
- ▶ Water quality test in lake, pond and river

### Ordering Information

**179250-11 (22)**  
CR 25, COD Reactor  
AC110V, 60Hz (AC220V, 50Hz)

**179250-43**  
Protective Lid

**197010-36**  
Multi-Function Test Tube Rack - White Base

**197010-36-1**  
Multi-Function Test Tube Rack - Blue Base

**CR 25**





**179250-43 (Optional) SafetyShield**  
Protect users from splattering reagents in accidents.



**(Optional) Multi-Function Test Tube Rack**  
\*Rack only, glass tubes NOT included.

### Specification

Model	CR 25	
PERFORMANCE DATA		
Display	OLED	
Temperature range	R.T. +5°C ~ 200°C	
Temperature accuracy	± 2°C	
Temperature stability	± 1°C	
Built-in programs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- COD program: 150°C / 120 min</li> <li>- COD2 program: 165°C / 20 min</li> <li>- TP program: 150°C / 30 min</li> <li>- TN program: 105°C / 30 min</li> <li>- TPN program: 120°C / 30 min</li> <li>- TOC program: 105°C / 120 min</li> </ul>	
Timer	(1) Countdown timer: 1 ~ 999 min (2) Continuous mode: On	
Number of vials	25 vials	
Applicable vials	φ 16 mm	
Net weight	5.1 Kg	
Dimension (LxWxH)	31 x 19 x 12 cm	
ELECTRICAL DATA		
Voltage	110V	220V
Frequency	50 / 60Hz	
Max. power	350W	350W
Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anti-heat PTFE plate on the top of heating block</li> <li>- Overheat Protection (220°C)</li> </ul>	


98