



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Estudio comparativo de eficiencia de oxidación de aguas residuales
de la industria petroquímica mediante proceso fenton y ozonización,
lima 2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Paucar Rodriguez, Katherin Marilus (orcid.org/0000-0002-9180-2951)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (orcid.org/0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Emma Rodríguez Castro., que ahora brilla en el cielo como una estrella luminosa, te dedico esta tesis con amor y gratitud. Aunque ya no estas físicamente conmigo, tu espíritu y tus enseñanzas me han guiado a lo largo de este camino académico.

Agradecimiento.

A todos mis docentes

“Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energías que nos anima a crecer como personas y como profesionales.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Estudio Comparativo de la Eficiencia de Oxidación de Aguas Residuales de la Industria Petroquímica mediante Proceso Fenton y Ozonización, Lima 2023", cuyo autor es PAUCAR RODRIGUEZ KATHERIN MARILUS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 01 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LOZANO SULCA YIMI TOM DNI: 41134872 ORCID: 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 15- 12-2023 12:05:18

Código documento Trilce: TRI - 0676212



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, PAUCAR RODRIGUEZ KATHERIN MARILUS estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Estudio Comparativo de la Eficiencia de Oxidación de Aguas Residuales de la Industria Petroquímica mediante Proceso Fenton y Ozonización, lima 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
KATHERIN MARILUS PAUCAR RODRIGUEZ DNI: 46599380 ORCID: 0000-0002-9180-2951	Firmado electrónicamente por: KAPAUCCARRO el 01- 12-2023 07:57:29

Código documento Trilce: TRI - 0676229

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor	iv
Declaratoria de originalidad del autor/autores	v
Índice de contenido.....	vi
Índice de tablas	vii
Indice de gráfico	viii
Indice de figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA	20
3.1. Tipo y diseño de investigación	20
3.2. Variable y operacionalización.....	20
3.3. Población, muestra y muestreo	21
3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos	21
3.5. Procedimiento	21
3.6. Método de análisis de datos.....	23
3.7. Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN	52
VI. CONCLUSIONES.....	59
VII. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS	
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Empresas involucradas en la industria petroquímica _____	15
Tabla 2. Propiedades físicas del ozono _____	18
Tabla 3. Caracterización de las aguas residuales de la industria petroquímica	24
Tabla 4. Tratamiento #1 DBO _____	24
Tabla 5. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos__	25
Tabla 6. Tratamiento #1 AyG _____	25
Tabla 7. Tratamiento #1 DQO _____	26
Tabla 8. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo_____	26
Tabla 9. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos__	26
Tabla 10. Tratamiento #1 AyG _____	27
Tabla 11. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo_____	28
Tabla 12. Tratamiento #2 DBO _____	28
Tabla 13. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo_____	29
Tabla 14. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos_	29
Tabla 15. Tratamiento #2 DQO _____	30
Tabla 16. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo_____	30
Tabla 17. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos_	31
Tabla 18. Tratamiento #2 AyG _____	32
Tabla 19. Prueba ANOVA_____	32
Tabla 20. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos_	32
Tabla 21. Tratamiento #3 DBO _____	33
Tabla 22. Prueba ANOVA_____	34
Tabla 23. Tratamiento #3 DQO _____	34
Tabla 24. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo_____	35
Tabla 25. Tratamiento #3 AyG _____	36
Tabla 26. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo_____	36
Tabla 27. Concentración final en cada tratamiento fenton _____	37
Tabla 28. Tratamiento #1 DBO _____	38
Tabla 29. Prueba ANOVA_____	39
Tabla 30. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos_	39
Tabla 31. Tratamiento #1 DQO _____	40
Tabla 32. Prueba ANOVA_____	40

Tabla 33. Tratamiento #1 AyG _____	41
Tabla 34. Prueba ANOVA_____	41
Tabla 35. Tratamiento #2 DBO _____	42
Tabla 36. Prueba ANOVA_____	42
Tabla 37. Prueba de Tukey para comparar la eficacia promedio _____	43
Tabla 38. Tratamiento #2 DQO _____	43
Tabla 39. Prueba ANOVA_____	44
Tabla 40. Prueba de Tukey para comparar la eficacia promedio _____	44
Tabla 41. Tratamiento #2 AyG _____	45
Tabla 42. Prueba ANOVA_____	45
Tabla 43. Tratamiento #3 DBO _____	46
Tabla 44. Prueba ANOVA_____	47
Tabla 45. Prueba de Tukey para comparar la eficacia promedio _____	47
Tabla 46. Tratamiento #3 DQO _____	48
Tabla 47. Prueba ANOVA_____	48
Tabla 48. Tratamiento #3 AyG _____	49
Tabla 49. Prueba ANOVA_____	49
Tabla 50. Concentración final en cada tratamiento de ozonización _____	50
Tabla 51. Análisis de la ozonización_____	50
Tabla 52. Comparación económica de los procesos de oxidación de Fenton y Ozonización _____	51

Índice de gráfico

Gráfico 1. Residuos que conforman las aguas residuales _____	16
Gráfico 2. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	25
Gráfico 3. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	27
Gráfico 4. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	28
Gráfico 5. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	30
Gráfico 6. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	31
Gráfico 7. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	33
Gráfico 8. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	34
Gráfico 9. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	35
Gráfico 10. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	37
Gráfico 11. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	39
Gráfico 12. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	41
Gráfico 13. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	42
Gráfico 14. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	43
Gráfico 15. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	45
Gráfico 16. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	46
Gráfico 17. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	48
Gráfico 18. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	49
Gráfico 19. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	50
Gráfico 20. Eficiencia del promedio respecto al tiempo _____	52

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de Oxidación Avanzada basado en el Ozono _____ 18

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar cuál es el método más eficiente para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica en la aplicación de los procesos Fenton y Ozonización Lima, 2023, para lo cual se utilizó una metodología de tipo aplicada con diseño cuasi experimental.

Los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a las aguas residuales de la industria petroquímica superan los VMA en los parámetros del pH, DBO, DQO y AyG. La aplicación del proceso Fenton para la oxidación presenta una eficiencia intermedia, con porcentajes mayores al 40%, 28% y 57% para el DBO; DQO y AyG. La aplicación del proceso de Ozonización presentó una eficiencia baja y menor al proceso Fenton, presentando como mayores porcentajes de remoción del DBO, DQO y AyG en un 22%, 12% y 28%. En la comparación de los resultados obtenidos de los procesos de oxidación de Fenton y Ozonización, para determinar cuál es el más eficiente en términos de eliminación de contaminantes y viabilidad económica se tuvo que el proceso Fenton presenta mayor eficiencia en sus promedios de remoción del DBO, DQO y AyG y en términos económicos el proceso Fenton es económicamente más viable.

Palabras clave: oxidación, ozonización, fenton, petroquímica

ABSTRACT

The objective of this study was to determine which is the most efficient method for the oxidation of wastewater from the petrochemical industry in the application of the Fenton and Ozonation processes Lima, 2023, for which an applied methodology with a quasi-experimental design was used.

The physicochemical parameters that characterize the wastewater from the petrochemical industry exceed the VMA in the parameters of pH, BOD, COD and AyG. The application of the Fenton process for oxidation presents an intermediate efficiency, with percentages higher than 40%, 28% and 57% for BOD; COD and AyG. The application of the ozonation process showed a low efficiency and lower than the Fenton process, with the highest removal percentages of BOD, COD and AGO at 22%, 12% and 28%. In the comparison of the results obtained from the Fenton and Ozonation oxidation processes, to determine which is the most efficient in terms of pollutant removal and economic viability, it was found that the Fenton process presents higher efficiency in its BOD, COD and AGO removal averages and in economic terms the Fenton process is economically more viable.

Keywords: oxidation, ozonisation, fenton, petrochemicals, petrochemicals

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se viene presentando una gran preocupación debido a la producción de gran cantidad de efluentes (Jain et al., 2023). Donde las aguas residuales de la industria petroquímica o también conocida como aguas aceitosas se han convertido en los últimos años en un importante problema para la sociedad (Gupta et al., 2017 citado en Ma Fu-Xin et al., 2022).

Entre la industria petroquímica, el sector petrolero es una de las principales causas de contaminación del agua en el planeta y un riesgo importante para la empresa (Ibrahim et al., 2022).

Un ejemplo son los 4400 millones de toneladas de petróleo generados a nivel mundial, además se ha demostrado que por cada tonelada del proceso de refinado del petróleo se genera entre 3,00 y 3,50 m³ de aguas residuales petroquímicas (Zhang y Fan, 2016; Siddique et al., 2017 citado en Tian et al., 2020). A nivel de América Latina los procesos generados por la industria petroquímica ocasionan una producción de 430.000 toneladas de materiales de desecho al día (Segovia et al., 2022).

Siendo la problemática la contaminación generada como resultado del uso final del gasóleo y de otros procesos concurrentes, donde, las refinerías de petróleo producen contaminantes residuales del agua como azufre y nitrato, respectivamente (Andreides et al., 2021).

Y es que, el proceso de las industrias petroquímicas utiliza un abundante uso de agua dulce y a su vez generan grandes cantidades de aguas residuales (Hu et al., 2020). Que presentan en su composición compuestos nocivos clasificados como contaminantes orgánicos (CO) e inorgánicos (CI) (Sevda et al., 2020).

Además, según algunas investigaciones, ciertos contaminantes orgánicos presentes en los efluentes petroquímicos son un peligro para la salud humana; por ejemplo, trabajadores expuestos a compuestos orgánicos

volátiles procedentes de la industria petroquímica han manifestado desarrollaron cáncer (Hajizadeh et al., 2018).

Por ello, el agua contaminada con derivados del petróleo y aditivos de procesamiento debe tratarse para eliminar estos compuestos antes de que pueda liberarse de nuevo en el medio ambiente por lo que se plantea utilizar la oxidación para tratar estas aguas residuales. Siendo los procesos de oxidación tratamientos avanzados que prometen una alta eficiencia para la remoción de materia orgánica (Fardin et al., 2021).

Ello es debido a que procesos como la Ozonización o Fenton descomponen en gran cantidad o a veces hasta su totalidad los contaminantes presentes como los CO o Cl (Bahri et al., 2018). Aunque estudios mencionan que la eficiencia de la oxidación de aguas residuales resistentes a la degradación de contaminantes orgánicos puede ser mayor con el uso del proceso Fenton (Dehboudeh et al., 2020).

Por lo cual para determinar que tratamiento es el más efectivo se plantea el siguiente problema general:

¿Cuál es el método más eficiente para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica en la aplicación de los procesos Fenton y Ozonización Lima, 2023?

Así mismo los siguientes problemas específicos:

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a las aguas residuales de la industria petroquímica?
- ¿Cuál es la eficiencia en la aplicación del proceso Fenton para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica?
- ¿Cuál es la eficiencia en la aplicación del proceso de Ozonificación para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica?

- ¿Cuál es el costo total y la eficiencia de eliminación de contaminantes para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica mediante el proceso de Fenton y ozonización?

De acuerdo a ello se plantea el siguiente objetivo general:

Determinar cuál es el método más eficiente para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica en la aplicación de los procesos Fenton y Ozonización Lima, 2023

Mientras que los objetivos específicos son:

- Identificar los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a las aguas residuales de la industria petroquímica
- Identificar la eficiencia en la aplicación del proceso Fenton para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica
- Identificar la eficiencia en la aplicación del proceso de Ozonificación para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica
- Comparar los resultados obtenidos de los procesos de oxidación de Fenton y Ozonización, para determinar cuál de los dos métodos es el más eficiente en términos de eliminación de contaminantes y viabilidad económica

La hipótesis general es:

La aplicación de los procesos Fenton y Ozonización es efectiva en la aplicación de la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica Lima, 2023

Las hipótesis específicas son:

- Los parámetros fisicoquímicos caracterizados son los indicados para determinar la eficiencia de la aplicación de los procesos de Ozonificación y Fenton para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica.
- La aplicación del proceso Fenton es eficiente para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica
- La aplicación del proceso Ozonificación es eficiente para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica
- La oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica mediante el proceso de Fenton es el método más eficiente y viable en términos de eliminación de contaminantes y viabilidad económica.

El presente estudio presentará una justificación teórica ya que, se realizará el registro de los resultados obtenidos sobre la eficiencia de oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica mediante proceso Fenton y Ozonización con el fin de contribuir con información verídica y actualizada para servir como base de datos para nuevas investigaciones sobre ingeniería ambiental o carreras afines.

Como justificación metodológica la información brindada de los datos obtenidos en la comparación de la eficiencia de oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica mediante proceso Fenton y Ozonización serán totalmente verídicos, siendo los datos brindados obtenidos en el laboratorio de la universidad cesar vallejo con los debidos instrumentos calibrados los cuales generan la información correcta.

La justificación de aspecto social busca generar un tratamiento efectivo en el tratamiento de aguas residuales de la industria petroquímica, buscando llegar a los estándares de calidad adecuados y encontrar un adecuado tratamiento.

En cuanto a la justificación económica, nuestro objetivo es difundir conocimientos sobre métodos eficaces y factibles de aplicar en cuanto a costos para oxidar las aguas residuales de la industria petroquímica, ayudando a identificar el método más eficaz disponible entre el proceso Fenton y la ozonización

II. MARCO TEÓRICO

Existen estudios a nivel mundial que estudiaron la oxidación de aguas residuales de la Industria Petroquímica mediante Proceso Fenton, así como con la ozonización, por lo que se presentan algunos estudios a continuación a nivel internacional, como manera de muestra:

En el estudio de Dehboudeh et al., (2020); se aplicó el proceso Fenton para determinar su eficiencia ante las aguas petroquímicas, siendo utilizado como un pre tratamiento antes de eliminarlas al ambiente, dando esta agua con una diversidad de contaminantes, para lo cual se estudió seis parámetros fisicoquímicos como los del pH y Ce. En el proceso experimental se utilizó un novedoso enfoque en dos etapas (EF+IFAS) para el tratamiento de aguas residuales con alta DQO, centrándose principalmente en el tratamiento de aguas residuales industriales petroquímicas con alto contenido en contaminantes. Para el trabajo experimental se utilizó un reactor electroquímico semilote de Pyrex con un volumen de muestra de 500 ml. Se conectó a dos electrodos una fuente de corriente continua digital que podía producir corrientes eléctricas de hasta 3 A y tensiones de hasta 30 V. Al sistema EF se le administró la solución contaminada, que tenía valores de pH de 3 a 9 y la cantidad necesaria de Fe^{2+} (40 mg L^{-1}). Utilizando una fuente de alimentación de corriente continua, los experimentos se realizaron con diversas corrientes eléctricas de 80, 160, 300, 380 y 450 mA. Se añadió peróxido de hidrógeno a las concentraciones requeridas de 32, 65 y 98 mM. Se utilizó un agitador magnético para agitar la solución cuando estaba a temperatura ambiente ($25 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Se cortó la alimentación eléctrica después de 10 a 40 minutos y se utilizó el análisis de la DQO para determinar la eficacia de eliminación de la muestra. Tras determinar los ajustes experimentales ideales para el proceso de EF, las aguas residuales tratadas se introdujeron en el proceso biológico IFAS. Los resultados mostraron que diversas variables operativas, como el pH de la solución, la concentración de H_2O_2 y la concentración de agua residual inicial, regulan las reacciones en el método Electro-Fenton. En consecuencia, el

objetivo de este estudio fue identificar las circunstancias ideales para maximizar la eliminación de DQO en el sistema Electro Fenton.

Así también, se realizó la comparación del tratamiento de Ozonización contra otros procesos para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales industriales petroquímicas en un lugar costero, donde Hu et al., (2020); llevó a cabo un estudio a escala piloto sobre una instalación de tratamiento de aguas residuales para una empresa petroquímica costera de Huizhou (China). Esta instalación de tratamiento de aguas residuales utiliza un biorreactor de membrana (MBR) para el pretratamiento, el proceso Fenton para el tratamiento avanzado y la ultrafiltración para separar los lodos Fenton utilizando membranas de fluoruro de polivinilideno (PVDF) (tamaño medio de poro 0,03 mm). Los componentes esenciales del montaje experimental son el tanque de agua limpia, el filtro biológico de carbón activado, el generador de ozono y el tanque de membrana ozono-cerámica. Los resultados demostraron la eficacia de este enfoque integrado en la eliminación de contaminantes. Las concentraciones medias de DQO Cr, fosfato y color del efluente fueron de 17 mg/L, 0,25 mg/L y 5 veces la dilución, respectivamente. Incluso con una elevada concentración de DQO influente (una media de 195 mg/L), la calidad del agua cumplió la norma local de vertido. Se utilizaron las características de fluorescencia y las características hidrofóbicas/hidrofílicas de los compuestos orgánicos para evaluar el impacto sinérgico de la ozonización y la filtración por membrana de tierra. Se descubrió que los nanoporos de la tecnología de membranas aumentaban la eficacia de la ozonización y que ésta reducía el ensuciamiento de las membranas. El método Fenton obtenía aguas residuales tratadas algo mayores que el método organizado, pero era más caro porque utilizaba más compuestos y requería la eliminación de lodos. El coste unitario estimado de este proceso integrado era sólo el 34% del proceso Fenton. El proceso integrado proporcionó una solución viable y económica para la remediación de aguas residuales petroquímicas de alto contenido salino en general, mostrando una excelente estabilidad, un efluente fiable y un bajo coste.

Por su parte, Shi et al., (2022); en su trabajo de investigación el objetivo fue el de proporcionar lodos férricos de Fenton (FIS), regeneración biológica, y la estrategia de utilización cíclica in situ para la descarga de lodo cero. En su metodología, este estudio utilizó la recogida y síntesis de dos tipos de FIS como objetos de investigación: lodo de hierro Fenton práctico (P-FIS) y lodo de hierro Fenton artificial (A-FIS). El proceso de oxidación Fenton de la instalación local de tratamiento químico de aguas residuales proporcionó directamente los P-FIS. Es así que los resultados comprueban la eficacia de este método utilizando FIS ficticios y reales; descubriendo que la relación Fe/orgánicos, el nivel de P (en forma de ortofosfato) y el contenido en sólidos tienen efectos significativos sobre la conversión energética del Fe (II) durante la digestión anaerobia de lodos de hierro, además de la temperatura. Por debajo de 3,5, no sólo podría recuperarse más del 90% del Fe (II) regenerado, sino que también podría mantenerse la actividad IRB en los efluentes. Este rango de pH vuelve a ser ideal para la extracción de recursos de Fe (II) a partir de lodos digeridos. Para la oxidación Fenton, los iones Fe^{2+} se emplean ciclo tras ciclo y muestran un rendimiento comparable al del sulfato. La combinación del método Fenton de regeneración biológica y el plan de uso cíclico in situ permite una reducción de costes de más del 60% y la eliminación cero de residuos. Este descubrimiento ofrece un método respetuoso con el medio ambiente para eliminar los lodos de hierro y podría contribuir a que el proceso Fenton sea más conocido. Concluyendo que según los datos de A-FIS, los productos de producción de biogás y la eficiencia de conversión de Fe (II) se vieron influidos significativamente por la relación Fe/orgánico, el nivel de P y el contenido de sólidos.

Así mismo, Gong et al., (2022); en su trabajo empleó los concentrados de ósmosis inversa (ROC) procedentes de la producción petroquímica y se trataron mediante las tecnologías de electrocoagulación (EC) y Fered-Fenton (FF). El COR se obtuvo de una industria química petrolífera del norte de China, y su ultrafiltración se trató antes del ósmosis inversa en el proceso de tratamiento de la planta industrial. Antes de utilizarlo, el COR obtenido se almacenó a 4 C en el laboratorio. Durante estos dos tratamientos se compararon la capacidad y el mecanismo de reducción de la toxicidad. Según los datos, la eliminación de contaminantes orgánicos y metales pesados puede haber contribuido a que la capacidad de FF para reducir la toxicidad sea superior a la de EC en el tratamiento de 30 minutos. Según los resultados, el ROC contenía moléculas orgánicas con pesos moleculares entre 1200 y 220 g mol⁻¹, la mayoría de las cuales eran subproductos microbianos solubles y compuestos parecidos al ácido húmico. La toxicidad se redujo significativamente como resultado directo de la eliminación de estas sustancias químicas. Los BTEXS, los haloalcanos y los HAP fueron eliminados más eficazmente por FF, y las eficiencias de eliminación de los HAP siguieron el siguiente orden: 5 anillos antes que 4 anillos, 3 anillos y 2 anillos. Al parecer, el fomento de la eliminación de metales pesados ayudaría a reducir la toxicidad en los ROC. Este estudio proporcionó consejos útiles a la industria petroquímica para la reducción de la toxicidad y la gestión de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales al aclarar las características de eliminación de contaminantes y el método de reducción de la toxicidad durante los tratamientos FF y EC.

Entre los estudios nacionales más relevantes se presenta:

Gamarra et al., (2014); en su estudio, menciona que, dado que sólo 143 del total de unidades industriales existentes realizan el tratamiento de aguas residuales industriales, y las restantes empresas vierten sus residuos en ríos, lagos y el océano, el tratamiento de las aguas residuales en Perú se realizó utilizando como metodología el proceso de oxidación de Fenton. Para la parte experimental se empleó un espectrofotómetro UV/Vis Shimadzu previamente calibrado, y se encontró que la variación del pH del AM causaba un cambio en la longitud de onda. Se comprobó que la longitud de onda era constante en el intervalo de pH de 2,0 a 4,5. Dado que las pequeñas fluctuaciones de pH causadas por reacciones secundarias no tendrán un impacto en la forma de evaluar la decoloración, se considera apropiado el uso de la técnica espectrofotométrica para el seguimiento de la decoloración. Las reacciones secundarias no influirán en la decoloración del AM. Se realizaron experimentos para determinar el tiempo de decoloración alterando los parámetros de concentración de SGA, H_2O_2 y $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, se adquirieron 89 puntos, y los datos de esos puntos fueron introducidos en el ordenador Minitab para producir los resultados. La zona con la duración azul más corta (200 segundos), como se ve en el mapa de colores que representa los intervalos de tiempo, es la que presenta la decoloración más rápida. Sin embargo, se ha comprobado que la relación $H_2O_2/FeSO_4 \cdot 7H_2O$ no es totalmente lineal para todas las concentraciones en 2×10^{-2} , por lo que es necesario crear una relación ideal para cada concentración del componente orgánico. El proceso Fenton, en conclusión, permite el tratamiento de efluentes con alto contenido orgánico, que pueden ser utilizados para la mineralización de la materia orgánica. Decoloración de fluidos que contienen compuestos orgánicos, mineralización de materias orgánicas y reducción de la DQO. decoloración de fluidos que contienen compuestos azoicos, como las aguas residuales.

Quispe et al., (2021); en su trabajo menciona que muchos de estos productos químicos, que a menudo son difíciles de biodegradar, podrían llegar a las fuentes naturales y provocar su contaminación, el uso excesivo de agroquímicos para la producción de alimentos en los países en desarrollo ha provocado una preocupación medioambiental. Por ello, en su estudio evaluó la degradación del metomilo, un insecticida común en la región peruana de Arequipa, utilizando varios PAOs, incluyendo la ozonización en un medio alcalino, UV-C/H₂O₂, y procesos foto-Fenton en aguas superficiales naturales con un pH ácido. Las sustancias de matriz aniónica, incluidos bicarbonatos, fluoruros y nitratos, se estudiaron primero en el laboratorio antes de probarlas en aguas superficiales no tratadas. Los resultados muestran que los PAOs evaluados pueden ser una alternativa prometedora para eliminar agroquímicos de fuentes naturales, alcanzándose la mayor eliminación de metomilo en agua real con un 99,38% para UV-C/H₂O₂, seguido del proceso fotofenton con un 94,12% de degradación y la ozonólisis en alcalino (pH 11) con un 40% de degradación.

Por otro lado, Valderrama et al., (2016); en su estudio el proceso Fenton para tratar los lixiviados del vertedero "Aguas de las Vírgenes" en Huancayo-Per. Se analizaron 10 parámetros entre estos el DBO5, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, Pb y Cd fueron los parámetros que se ensayaron. Para optimizar los valores de aplicación se utilizó el diseño Box-Behnken y métodos de superficie de respuesta, mientras que las muestras se procesaron en un sistema de jarras con agitación. En el estudio experimental para determinar el valor del pH adecuado y la dosificación óptima del reactivo de Fenton se establecieron en cada periodo de investigación realizando dos duplicados de cada una de las 15 primeras pruebas. Cada parámetro se expresó utilizando la misma metodología que en la sección anterior. El pH de la muestra (500 mL de lixiviado) se comprobó utilizando un medidor de pH HANNA HI 22113. Antes de añadir sulfato de hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pureza 99% p/p, Merck) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , 30% V/V), se utilizó ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 , pureza 96,6% p/p, ACS Fermont) para ajustar el pH. Para evitar la sobreexpumación, esta técnica se llevó a cabo cuidadosamente. La dosificación del reactivo Fenton y los niveles de pH se utilizaron de acuerdo con la matriz de ensayo. En dos estaciones, la lluviosa (pH = 3,19, 1645,55 mg/L de FeSO_4 y 1096,55 mg/L de H_2O_2) y la seca (pH = 3,26, 1788,61 mg/L de FeSO_4 y 1180,83 mg/L de H_2O_2), se determinaron los valores de las mejores concentraciones. Para ambas estaciones, el tiempo de respuesta ideal fue de 20 minutos. La DQO casi se eliminó tanto en la estación lluviosa como en la seca, siendo el indicador de biodegradabilidad de 0,568 y 0,329, respectivamente. El método Fenton es una opción eficaz de postratamiento para hacer frente a las sustancias químicas persistentes en los lixiviados.

Mientras que, en la investigación de López et al., (2017); llevado a cabo en Perú, se presentó como objetivo mejorar el tratamiento de aguas residuales aplicando el proceso de oxidación Fenton y Photo-Fenton, por lo cual en el estudio experimental se disolvió $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (99% de pureza, Scharlau) en H_2SO_4 (98%, JT Baker) a 0,1 mol L⁻¹ y H_2O_2 (30% en masa, JT Baker) a 0,3 mol L⁻¹. La solución objetivo era fenol (99,6% de pureza, JT Baker) a 20 ppm. Los materiales analíticos se mezclaron con NaOH (99% de pureza, Macron) en solución a una concentración de 1 mol L⁻¹ para evitar la degradación del fenol y permitir los análisis. Los ensayos de degradación se llevaron a cabo en un reactor fotoquímico discontinuo con agitación magnética y provisto de un medidor de pH y una camisa de control de temperatura. Se añadió 1 L de solución de fenol al reactor para cada ensayo. El pH se mantuvo en 2,91 0,02 con la ayuda de pequeñas cantidades de H_2SO_4 al 50%. A continuación, se añadieron simultáneamente las soluciones de catalizador y oxidante en las proporciones requeridas, y la mezcla se dejó reaccionar a temperatura ambiente mientras se mantenía a oscuras y se agitaba enérgicamente. Cada experimento se realizó al menos tres veces. Para cada experimento, se examinaron cuatro muestras de 10 mL con duraciones de respuesta de 0, 2, 5 y 10 minutos. Además de las soluciones necesarias para los ensayos colorimétricos, se añadieron metódicamente 100 L de la solución inhibidora a cada muestra inmediatamente después de sacarla del reactor. Tras 15 minutos de reposo, los analitos se examinaban espectrofotométricamente a 500 nm (longitud de onda determinada durante la calibración anterior). Concluyendo que, en soluciones acuosas con concentraciones de fenol de 20 ppm, los POA de Fenton y foto-Fenton han demostrado degradar el compuesto en más de un 90% e incluso cerca del 100%. Mientras que los tratamientos Fenton no irradiados con una relación de concentración molar inicial de 38,4 generan degradaciones similares. Puede elegirse cualquiera de los dos tratamientos a menos que se requieran degradaciones excepcionalmente significativas.

Industria petroquímica: Tian et al. menciona que la industria petroquímica vierte grandes cantidades de aguas residuales, así, de acuerdo con su estudio menciona lo siguiente:

en China se conoce que alrededor de 2 000 millones de toneladas de efluentes petroquímicos son emitidos creciendo a nivel global en hasta 4 000 millones en un solo año. Así mismo, se sabe que, según las investigaciones, en los próximos 20 años la demanda mundial de petróleo ascenderá a unos 107 millones de barriles diarios, y en 2030 el petróleo suministrará cerca del 32% de la energía mundial (2020).

Sustancias fabricadas a partir del petróleo crudo: Así mismo para definir dichas sustancias, James et al., menciona lo siguiente:

A través de los diversos procesos se generan los productos petroquímicos, que son sustancias fabricadas a partir del petróleo crudo, mientras que gran parte de esas mismas sustancias también pueden fabricarse a partir de fuentes renovables como el maíz, la caña de azúcar y otros tipos de biomasa, así como de otros combustibles fósiles como el carbón y el gas natural (2020).

Técnica de Oxidación Avanzada (OA): En consecuencia, para tratar las aguas residuales de la industria petroquímica se emplea la técnica de Oxidación Avanzada; donde Cardoso et al., menciona lo siguiente:

Para la remediación de contaminantes de la industria petroquímica, las técnicas de OA son materiales significativos, eficaces, alentadores y respetuosos con el medio ambiente, basándose frecuentemente en la producción in situ de especies radicales extremadamente reactivas, que son cruciales para la depuración y descomposición catalítica de las aguas residuales (2021).

En principio es debido mencionar que la industria petroquímica actualmente es un negocio internacional; donde el petróleo crudo es una mercancía que se produce, compra, vende, exporta y utiliza en todo el mundo (Borglum S. y Soeder D., 2019).

La industria petroquímica además de servir como apoyo a una amplia gama de otras industrias, como las de la agricultura, la energía, el transporte, etc. juega un papel importante en la economía de países de todas las naciones (Clews, 2016; Jafarinejad, 2017 citado en Zhao et al.,

2017). Además de ser una de las industrias con mayores tasas de crecimiento y componente clave de la expansión de la economía (Varjani Sunita et al., 2020, p.2). Como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Empresas involucradas en la industria petroquímica

Ingresos (miles de millones de dólares estadounidenses)	
BASF	79
Sinopec	60
Dow	57
Sabic	44
Royal Dutch	
Shell	42
exxonmobil	39
Plásticos	
Formosa	38
LyondellBa-	
sell	33
dupont	31
Ineos	27

Fuente: Adaptado de Clews, (2016)

Pero a pesar que más de la mitad del total de las industrias a nivel mundial se encuentran constituidas por la industria petroquímica este desarrollo ha ocasionado contaminación del medio ambiente (Biswas et al., 2022).

Y es que, la contaminación ambiental generada por la industria petroquímica por las aguas residuales peligrosas es una de las principales preocupaciones de la humanidad en el mundo actual (Varjani et al., 2019 citado en Biswas et al., 2022).

Siendo las diversas contaminaciones generadas por la industria petroquímica afectadas en los recursos hídricos, la cual llega a dañar las

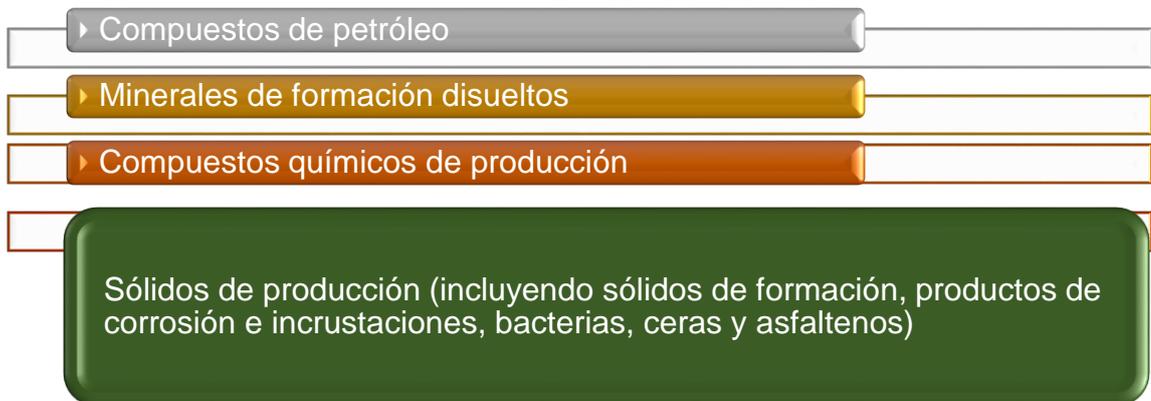
aguas subterráneas, flora y fauna generando una severa amenaza (Sarkhel R. y Ganguly P., 2022).

La causa se inicia en los residuos peligrosos generados por las plantas petroquímicas; y es que estos se forman por las instalaciones de almacenamiento, procesamiento y transporte; donde el proceso de refinado produce importantes volúmenes de lodos (Sarma et al., 2019).

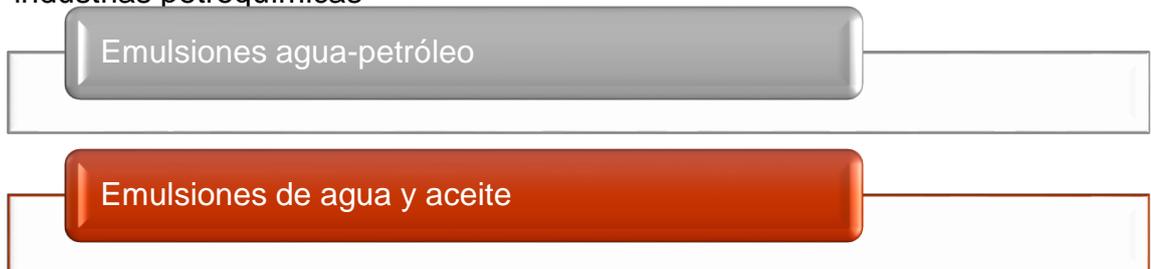
Ello corrobora la mala disposición de las aguas residuales de las organizaciones al momento de llevar a cabo los procesos, así como el uso de materiales químicos utilizados para dichos procesos que generan residuos contaminantes (Boaventura et al., 2022).

Ante ello, dependiendo del entorno y de las técnicas utilizadas para el refinado, las aguas residuales pueden tener una amplia gama de concentraciones químicas específicas. Como se observa en el gráfico 1.

Gráfico 1. Residuos que conforman las aguas residuales



Principales compuestos presentes en las aguas residuales de las industrias petroquímicas



Elaboración propia

Dependiendo de los métodos empleados para el refinado del petróleo y del tipo de crudo utilizado, De acuerdo con Ibrahim Mohamed et al., (2022), la naturaleza de los contaminantes que afectan la salud del ser humano varían, así como la composición química de los efluentes vertidos al medio ambiente por las empresas petroquímicas.

Además, son las principales causas de generación de contaminantes orgánicos (CO) e inorgánicos (CI) pudiéndose mencionar entre los CO hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que generan graves daños como el cáncer y efectos adversos en la vegetación (Gupta S. y Pathak B., 2020).

A pesar que el petróleo es uno de los sectores fundadores de la economía mundial no se llevan a cabo estudios comparativos sobre la remediación enfocados en la rentabilidad y en que sean ambientalmente inofensivos (Huang et al., 2019). Por lo que, la oxidación (OA) para el tratamiento de las aguas residuales es considerado ideal para erradicar los compuestos nocivos, compuestos no biodegradables o que presenten en su composición contaminantes tóxicos y degradarlos por completo (Fardin et al., 2021).

Existen pruebas de estudios que aplican diversos procesos de oxidación como la cavitación, Fenton, ozonización, la fotocatálisis y otros procesos combinados, y se ha comprobado su eficacia en la degradación de diversos contaminantes orgánicos de naturaleza biorremediadora (Saravanan et al., 2022).

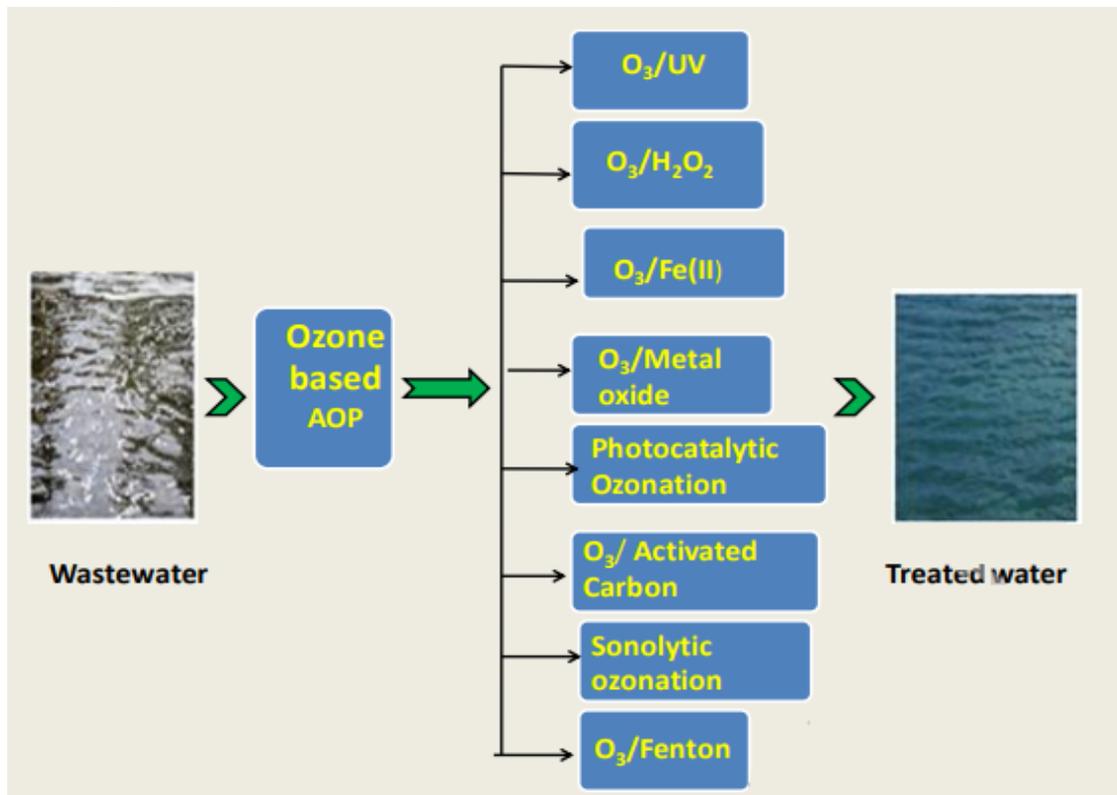
El paso principal entre los procesos de oxidación Fenton y ozonización es la formación de especies reactivas (Gagol et al., 2018; Bagal y Gogate, 2014 citado en Saravanan et al., 2022).

La oxidación Fenton se caracteriza por la interacción del peróxido de hidrógeno como oxidante y los iones de hierro como catalizador para formar especies altamente activas, (radicales OH no selectivos con un potencial de oxidación de 2,8 V) (Pouran, Rahim, Raman, Abdul, & Daud, 2014 citado en Moura et al., 2022).

Entre las ventajas que presenta el uso de la oxidación Fenton está el tiempo y la economía; ya que emplea un tiempo corto de reacción, así mismo, el beneficio de no utilizar energía y no ser un proceso tóxico (More et al., 2019).

Por otro lado, en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, la ozonización se utiliza para reducir lodos y eliminar contaminantes orgánicos difíciles y la ozonización provoca la solubilización de los lodos, disminuyendo la producción total de biomasa (Rekhate C. y Srivastava J., 2020). (Ver figura 1)

Figura 1. Proceso de Oxidación Avanzada basado en el Ozono



Fuente: Rekhate et al., (2020)

Así mismo, entre las propiedades físicas que presenta el proceso de oxidación mediante la Ozonización se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas del ozono

Parámetro	Valor
Peso molecular	48
Densidad (Kg/m ³)	2.14

Punto de ebullición (°C)	-111,9
Punto de fusión (°C)	-192,6
Temperatura crítica (°C)	-12,1
Presión crítica (Atm)	54.6
Potencial de oxidación (V)	-2,07
Solubilidad en agua a 0 °C (L/L)	0,64
Solubilidad en agua a 15 °C (L/L)	0.456
Solubilidad en agua a 40 °C (L/L)	0.112
Solubilidad en agua a 60 °C (L/L)	0

Fuente: Vargas L. y Szigeti J., 2016 citado en Rekhate C. y Srivastava J., (2020)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La aplicada es un tipo de investigación que se centra en un objetivo, en su resolución y aplicación posterior para ayudar con la optimización de conocimientos a los profesionales interesados (Castro et al., 2023).

Ante ello, el presente estudio utilizó el tipo de investigación aplicada, ya que, se buscó aplicar el mejor proceso de oxidación, mediante la resolución del problema de estudio, el cual buscó determinar que al resolver el problema de cuál es el método más eficiente para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica en la aplicación de los procesos Fenton y Ozonización Lima, 2023.

3.1.2. Diseño de investigación

Un tipo de diseño cuasi experimental es aquel que permite que los resultados obtenidos por los estudios experimentales sean reforzados (Barnighausen et al., 2017).

Es por ello, que el tipo de diseño de investigación es cuasi experimental, ya que, se manipuló intencionalmente la variable independiente, es decir los procesos Fenton y Ozonización en cuanto a dosis, para poder determinar la eficiencia de Oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica.

3.2. Variables y operacionalización

Las variables se encuentran definidas de manera conceptual y operacional en la tabla presentada en el Anexo 1, donde se clasifican por las dimensiones, indicadores y escala.

- Variable independiente: Proceso Fenton y Ozonización
- Variable dependiente: Eficiencia de Oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica

3.3. Población, muestra y muestreo

La muestra es un subconjunto o una porción representativa de la población, la población, también conocida como universo, se refiere a toda la colección de sujetos, elementos o casos que se están explorando. Contienen características que les permiten contribuir a la información que se estudia (Alan D. y Cortez L., 2017). Ante ello se presenta a continuación la población y muestra del estudio:

3.3.1. Población

En el presente estudio se estudió el agua residual de la industria petroquímica, su nivel de contaminación y de oxidación empleando dos tipos de procesos; por lo cual la población analizar es el agua residual de la industria petroquímica.

-Criterios de inclusión: agua residual únicamente de la industria petroquímica

-Criterios de exclusión: Aguas residuales domiciliarios, municipales, entre otros no pertenecientes a la industria petroquímica

3.3.2. Muestra

La muestra consta de 65 litros del volumen de la muestra del agua residual recolectado.

El muestreo es probabilístico, ya que, los individuos que se seleccionarán para la muestra son totalmente al azar.

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica utilizada es la observación y entre los instrumentos usados para la recolección está la ficha de investigación, ficha técnica de levantamiento de información en el laboratorio; siendo estos instrumentos usados para detallar la información presentada como datos iniciales y finales.

3.5. Procedimiento

El procedimiento del estudio experimental consta de 3 etapas, la de construcción y planeamiento, el desarrollo experimental y la parte final; siendo detallados en el gráfico 2.

Gráfico 2. Procedimiento del trabajo experimental

1ra etapa:

Búsqueda y selección de artículo guía

- Se busca un artículo que describa como aplicar el método elegido (Fenton y Ozonización) en el estudio.

Elaboración del método y diseño

- Mediante el método elegido se llevó a cabo la cantidad de tratamientos, corridas y replicas a realizar

2da etapa:

Estudio de caracterización

- Para el primer estudio se realizó la caracterización de 6 parámetros (T°, DBO, DQO, Aceite y grasa, TSS, pH), para lo cual se realizó la toma de 65 litro de aguas residuales de la industria petroquímica (el efluente tomado como la muestra fue extraída del tanque de sedimentación de una planta industrial petroquímica) y una vez llevado al laboratorio se estudió para determinar los valores que presentan y si sobrepasan los valores máximos admisibles (VMA).

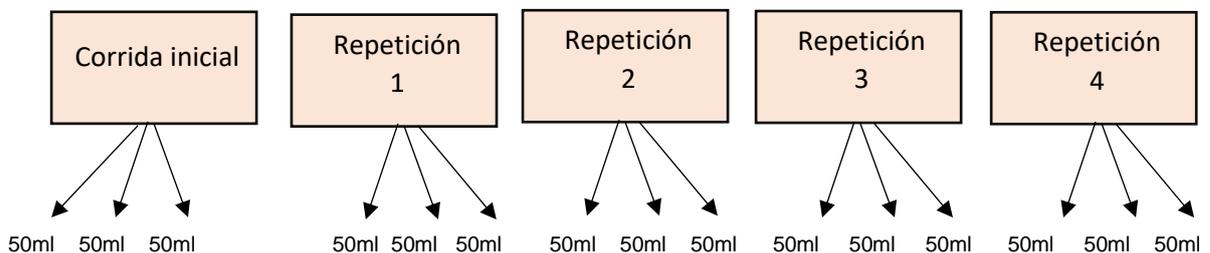
Estudio Fenton

- Se realizó el estudio Fenton en el laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo

Para el proceso Fenton se utilizó el test de jarras, este proceso estuvo compuesto por 3 tratamientos.

1. En el primer tratamiento se acondiciono 5 jarras definidas como: corrida inicial, repetición 1, repetición 2, repetición 3 y repetición 4, con un volumen de 2000 mL cada una y ajustadas a un pH 5, con dosis de 100 mg/L del agente oxidante peróxido de Hidrogeno (H₂O₂) y 50 mg/L del catalizador Óxido de Hierro (Fe⁺²), el tratamiento consto de un tiempo de 100 minutos tomando muestreo a los 20, 40, 60, 80 y 100 minutos respectivamente, para analizar los parámetros DBO, DQO y AyG, cabe agregar que cada muestra fue de 50 ml por parámetro por tiempo

2. Para el segundo tratamiento se acondiciono nuevamente 5 jarras definidas como: corrida inicial, repetición 1, repetición 2, repetición 3 y repetición 4, con un volumen de 2000 mL cada una y ajustadas a un pH 7, con dosis de 150 mg/L del agente oxidante peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y 65 mg/L del catalizador Óxido de Hierro (Fe^{+2}), el tratamiento consto de un tiempo de 100 minutos tomando muestreo a los 20, 40, 60, 80 y 100 minutos respectivamente, para analizar los parámetros DBO, DQO y AyG, cabe agregar que cada muestra fue de 50 ml por parámetro por tiempo
3. Finalmente el tercer tratamiento con 5 jarras definidas como: corrida inicial, repetición 1, repetición 2, repetición 3 y repetición 4, con un volumen de 2000 mL cada una y ajustadas a un pH 9, con dosis de 175 mg/L del agente oxidante peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y 75 mg/L del catalizador Óxido de Hierro (Fe^{+2}), el tratamiento consto de un tiempo de 100 minutos tomando muestreo a los 20, 40, 60, 80 y 100 minutos respectivamente, para analizar los parámetros DBO, DQO y AyG, cabe agregar que cada muestra fue de 50 ml por parámetro por tiempo



Estudio de Ozonización

- El proceso de ozonización también consto de 3 tratamientos siendo estos:
 1. en el primer tratamiento se utiliza 5 jarras designadas como corrida inicial, repetición 1, repetición 2, repetición 3 y repetición 4, con un volumen de 2000 mL cada una y ajustadas a un pH 9, con una dosis de agente oxidante Ozono (O_3) de 100 mg, y dosis de catalizador de Óxido férrico (Fe_3O_4) de 0.1 mg/L.
 2. en el segundo tratamiento se utiliza 5 jarras designadas como corrida inicial, repetición 1, repetición 2, repetición 3 y repetición 4, con un volumen de 2000 mL cada una y ajustadas a un pH 6, con una dosis de agente oxidante Ozono (O_3) de 200 mg, y dosis de catalizador de Óxido férrico (Fe_3O_4) de 0.2 mg/L.
 3. finalmente, el tercer tratamiento se utiliza 5 jarras designadas como corrida inicial, repetición 1, repetición 2, repetición 3 y repetición 4, con un volumen de 2000 mL cada una y ajustadas a un pH 3, con una dosis de agente oxidante Ozono (O_3) de 300 mg, y dosis de catalizador de Óxido férrico (Fe_3O_4) de 0.3 mg/L.
- Cada tratamiento el tratamiento consto de un tiempo de 100 minutos tomando muestreo a los 20, 40, 60, 80 y 100 minutos respectivamente, para analizar los parámetros DBO, DQO y AyG, cabe agregar que cada muestra fue de 50 ml por parámetro por tiempo

3.6. Método de análisis de datos

La información obtenida en el estudio experimental de los procesos Fenton y Ozonización son ingresados al programa Excel; siendo así que cada dato de cada proceso y corrida permitió identificar la eficiencia en su aplicación para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica, siendo comparados con los Valores Máximos Admisibles del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.

3.7. Aspectos éticos

Para el desarrollo del presente trabajo se ha dado cumplimiento del respeto a la identidad, nombrando a cada autor debidamente citado de acuerdo a la Norma ISO 690-II, de quienes se utilizó información, así como el respeto a lo establecido por la guía de productos observables, cumpliendo con los principios fundamentales éticos.

IV. RESULTADOS

Ahora bien, de acuerdo al objetivo general para determinar el método más eficiente para la reducción de concentración de parámetros en aguas residuales de la industria textil planteamos 2 métodos: FENTON y OZONIZACION, tal como se describen a continuación.

Tabla 3. Caracterización de las aguas residuales de la industria petroquímica

MUESTRA	T (°C)	pH	DBO	DQO	SST (mg/l)	Aceites y grasas (mg/L)
			(mg/L)	(mg/L)		
M-1	21.2	7.2	840	1340	140	225
VMA	<35°C	6-9	500	1000	500	100

De acuerdo con la tabla 3 nos muestra que los valores de la muestra 1 presentan valores que superan los VMA en DBO y DQO.

- **Tratamiento #1 proceso FENTON:** Este primer tratamiento se realizó utilizando un volumen de muestra de 2000 ml, con una dosis de agente oxidante Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) de 100 mg/L, así mismo la dosis del catalizador Óxido de Hierro (Fe⁺²) de 50 mg/L, y finalmente el pH ajustado a 5

Tabla 4. Tratamiento #1 DBO

CONTAMINANTE	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	840 mg/L				
Corrida Inicial	834	821	795	781	805
Repeticiones					
1	846	825	770	745	790
2	826	816	755	675	789
3	810	802	715	625	793
4	799	780	655	598	765
PROMEDIO	823	808.8	738	684.8	788.4

Tal como se observa en la tabla anterior, con una concentración inicial de 840 mg/L de DBO, este tuvo una reducción de hasta 684.8 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 5. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	900.8	4	225	8.092	0.000
Dentro de grupos	556.6	20	28		
Total	1,457.4	24			

Como Sig=0.000 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo.

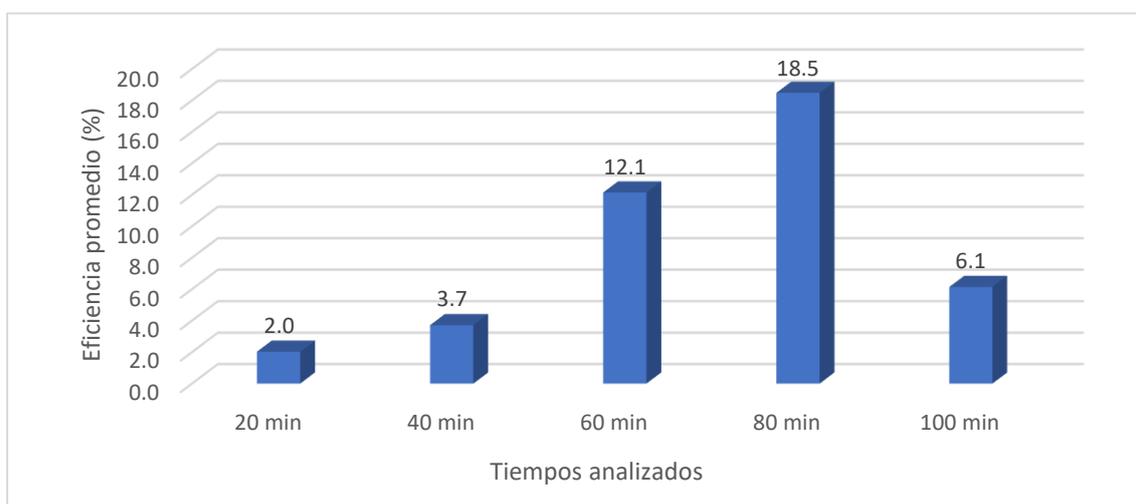
Tabla 6. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
20 minutos	5	2.0	
40 minutos	5	3.7	
100 minutos	5	6.1	
60 minutos	5	12.1	12.1
80 minutos	5		18.5
Sig.		0.053	0.350

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Gráfico 2. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 2 la eficiencia resultó significativamente mayor a los 60 y 80 minutos

Tabla 7. Tratamiento #1 DQO

CONTAMINATE	Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	1340 mg/L				
Corrida Inicial	1331	1315	1298	1245	1281
Repeticiones					
1	1319	1302	1289	1227	1275
2	1299	1278	1247	1213	1250
3	1282	1243	1220	1191	1219
4	1241	1228	1199	1173	1185
PROMEDIO	1294.4	1273.2	1250.6	1209.8	1242

En la tabla 7, observamos que con una concentración inicial de 1340 mg/L de DQO, este tuvo una reducción de hasta 1209.8 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 8. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	114.4	4	29	3.728	0.020
Dentro de grupos	153.5	20	8		
Total	268.0	24	-	-	-

Como Sig=0.020 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo.

Tabla 9. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos

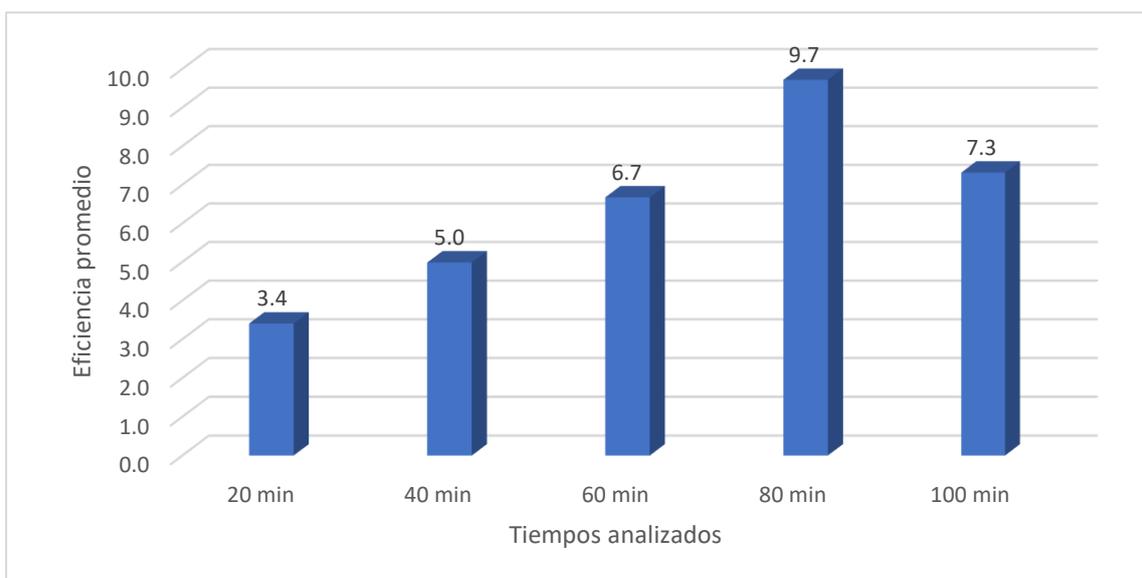
Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
20 minutos	5	3.4	-

40 minutos	5	5.0	5.0
60 minutos	5	6.7	6.7
100 minutos	5	7.3	7.3
80 minutos	5		9.7
Sig.	-	0.209	0.089

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Gráfico 3. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 3, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 40, 60, 80 y 100 minutos

Tabla 10. Tratamiento #1 AyG

CONTAMINANTE	Aceites y Grasas (AyG)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	225 mg/L				
Corrida Inicial	223	219	222	218	220
Repeticiones					
1	219	215	223	210	213
2	213	211	217	206	209
3	207	208	212	199	204
4	201	200	209	185	199

PROMEDIO	212.6	210.6	216.6	203.6	209
-----------------	--------------	--------------	--------------	--------------	------------

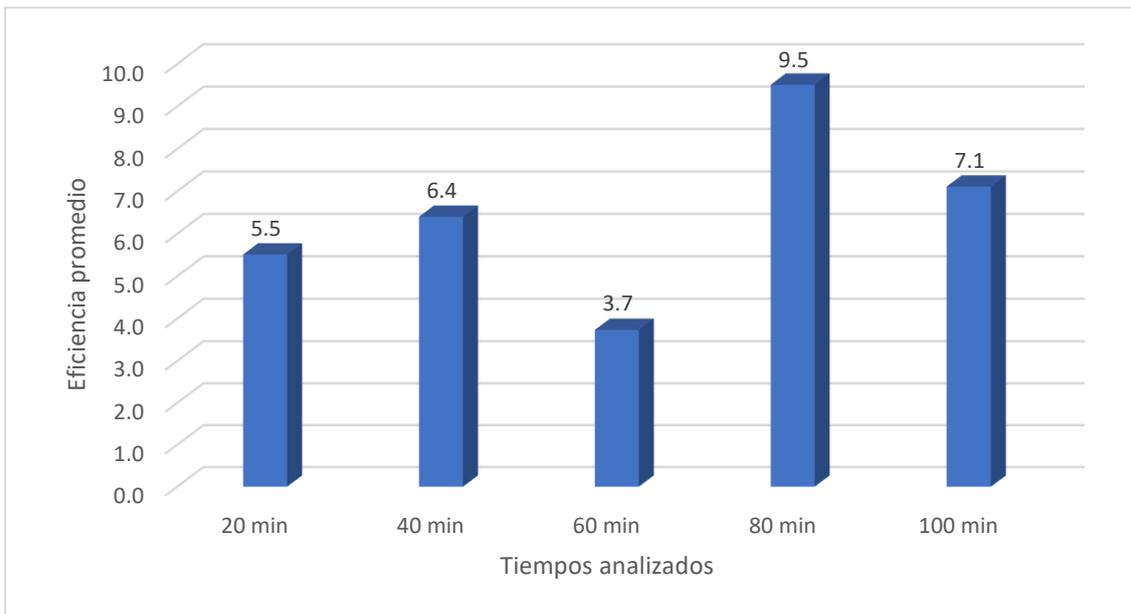
Finalmente, para el tratamiento 1 proceso fenton el parámetro de Aceites con una concentración inicial de 225 mg/L obtuvo una reducción de concentración de hasta 203.6 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 11. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	90.4	4	23	1.469	0.249
Dentro de grupos	307.5	20	15		
Total	397.9	24	-	-	-

Como Sig=0.249 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 4. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 4 la eficiencia resultó significativamente mayor a los 100 y 80 minutos.

- **Tratamiento #2 proceso FENTON:** Para este segundo tratamiento se utilizó un volumen de muestra de 2000 ml, con una dosis de agente oxidante Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) de 150 mg/L, así mismo la dosis del catalizador Óxido de Hierro (Fe⁺²) de 65 mg/L, y finalmente el pH ajustado a 7

Tabla 12. Tratamiento #2 DBO

CONTAMINATE	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	840 mg/L				
Corrida Inicial	825	809	772	701	705
Repeticiones					
1	819	794	671	603	765
2	810	772	579	504	701
3	790	712	477	389	635
4	765	691	395	276	589
PROMEDIO	801.8	755.6	578.8	494.6	678.4

Tal como se observa en la tabla 12, con una concentración inicial de 840 mg/L de DBO, este redujo su concentración hasta 494.6 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 13. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,502.5	4	1,126	6.759	0.001
Dentro de grupos	3,330.6	20	167		
Total	7,833.1	24	-	-	-

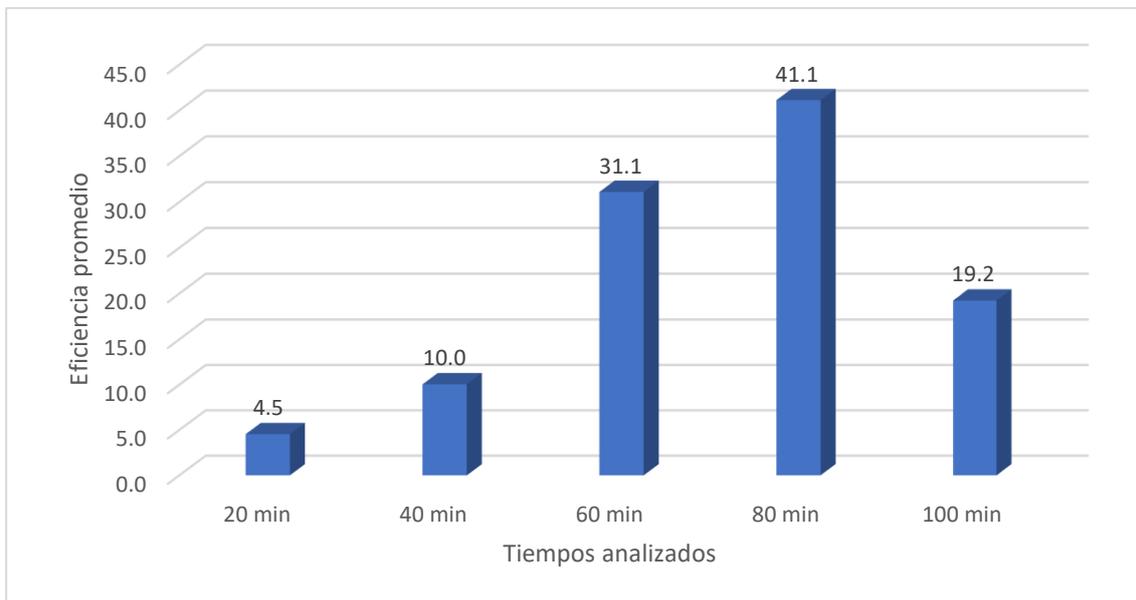
Como Sig=0.001 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo.

Tabla 14. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
20 minutos	5	4.5	-	-
40 minutos	5	10.0	10.0	
100 minutos	5	19.2	19.2	19.2
60 minutos	5	-	31.1	31.1
80 minutos	5	-		41.1
Sig.	-	0.406	0.113	0.091

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Gráfico 5. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 5, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 60,80 y 100 minutos

Tabla 15. Tratamiento #2 DQO

CONTAMINATE	Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	1340 mg/L				
Corrida Inicial	1314	1299	1286	1214	1280
Repeticiones					
1	1299	1277	1260	1009	1201
2	1286	1241	1239	980	994
3	1265	1218	1195	886	1109
4	1235	1198	1142	768	1056
PROMEDIO	1279.8	1246.6	1224.4	971.4	1128

En la tabla 15, observamos que el parámetro DQO con una concentración inicial de 1340 mg/L, tuvo una mejor reducción de hasta 971.4 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 16. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,728.9	4	432	8.411	0.000
Dentro de grupos	1,027.8	20	51		
Total	2,756.7	24	-	-	--

Como Sig=0.000 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo.

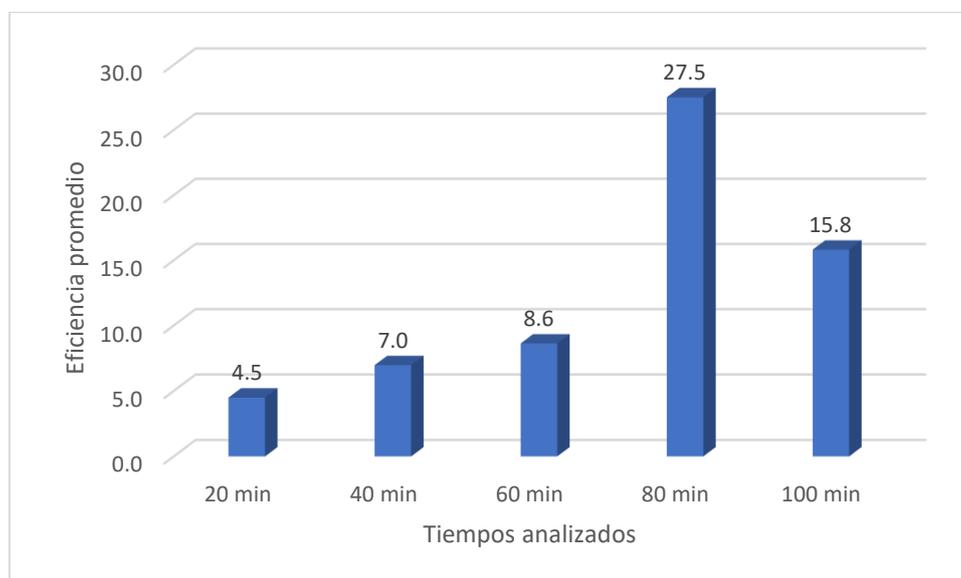
Tabla 17. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
20 minutos	5	4.5	-
40 minutos	5	7.0	-
60 minutos	5	8.6	-
100 minutos	5	15.8	15.8
80 minutos	5		27.5
Sig.		0.131	0.113

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Gráfico 6. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 6, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 80 y 100 minutos

Tabla 18. Tratamiento #2 AyG

CONTAMINATE	Aceites y Grasas (AyG)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	225 mg/L				
Corrida Inicial	219	211	199	155	185
Repeticiones					
1	213	200	173	110	161
2	201	179	158	95	146
3	189	135	130	79	135
4	175	114	100	60	122
PROMEDIO	199.4	167.8	152	99.8	149.8

Finalmente, para el tratamiento 2 del proceso fenton el parámetro de Aceites y Grasas con una concentración inicial de 225 mg/L obtuvo una mejor reducción de concentración de hasta 99.8 mg/L, en un tiempo de 80 minutos

Tabla 19. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5,146.3	4	1,287	6.000	0.002
Dentro de grupos	4,288.3	20	214		
Total	9,434.6	24	-	-	-

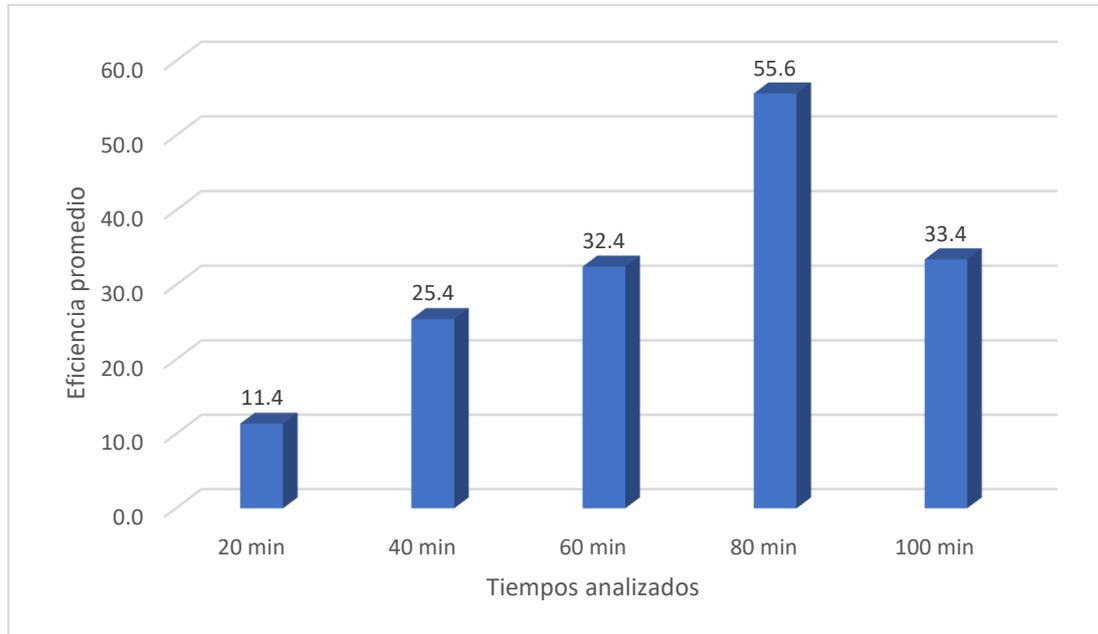
Como Sig=0.002 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo.

Tabla 20. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
20 minutos	5	11.4	-
40 minutos	5	25.4	-
60 minutos	5	32.4	32.4
100 minutos	5	33.4	33.4
80 minutos	5	-	55.6
Sig.	-	0.162	0.129

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Gráfico 7. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 7, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 60, 80 y 100 minutos

- **Tratamiento #3 proceso FENTON:** Para este tercer tratamiento se utilizó un volumen de muestra de 2000 ml, con una dosis de agente oxidante Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) de 175 mg/L, así mismo la dosis del catalizador Óxido de Hierro (Fe⁺²) de 75 mg/L, y finalmente el pH ajustado a 9.

Tabla 21. Tratamiento #3 DBO

CONTAMINATE	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
	20	40	60	80	100
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	840 mg/L				
Corrida Inicial	831	835	833	829	834
Repeticiones					
1	823	820	829	817	821
2	815	810	817	806	811
3	799	816	803	787	791

4	801	795	789	776	779
PROMEDIO	813.8	815.2	814.2	803	807.2

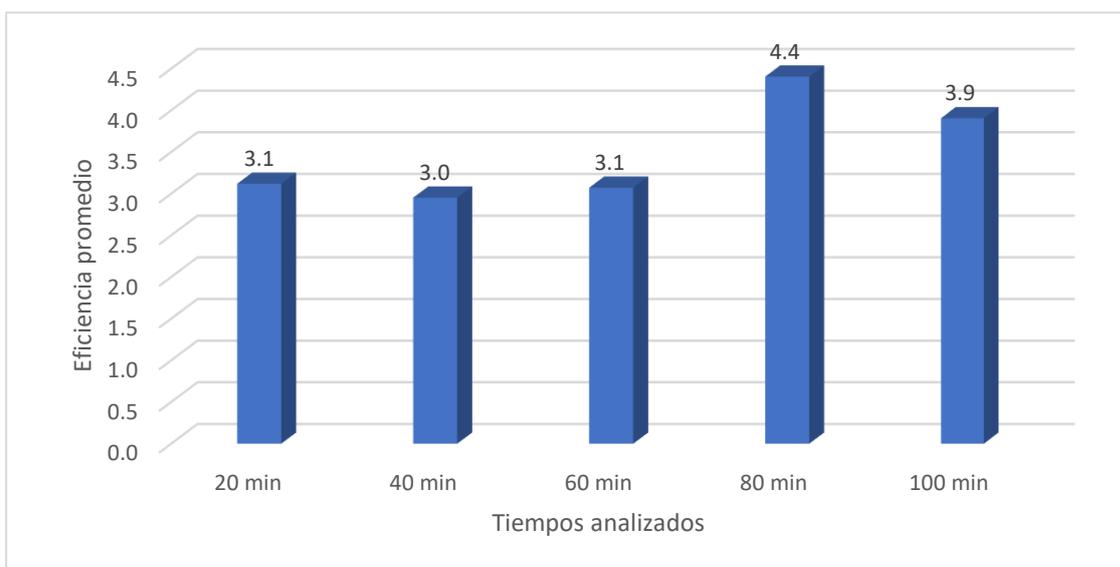
Tal como se observa en la tabla 21, el parámetro de DBO con una concentración inicial de 840 mg/L, se redujo hasta 803 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 22. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8.1	4	2	0.418	0.794
Dentro de grupos	96.4	20	5		
Total	104.5	24	-	-	-

Como Sig=0.794 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 8. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 8, la eficiencia resultó mayor a los 80 y 100 minutos.

Tabla 23. Tratamiento #3 DQO

CONTAMINATE	Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	1340 mg/L				
Corrida Inicial	1331	1328	1330	1325	1333

Repeticiones					
1	1320	1302	1313	1297	1322
2	1301	1298	1292	1281	1305
3	1283	1271	1279	1270	1289
4	1276	1265	1284	1263	1291
PROMEDIO	1302.2	1292.8	1299.6	1287.2	1308

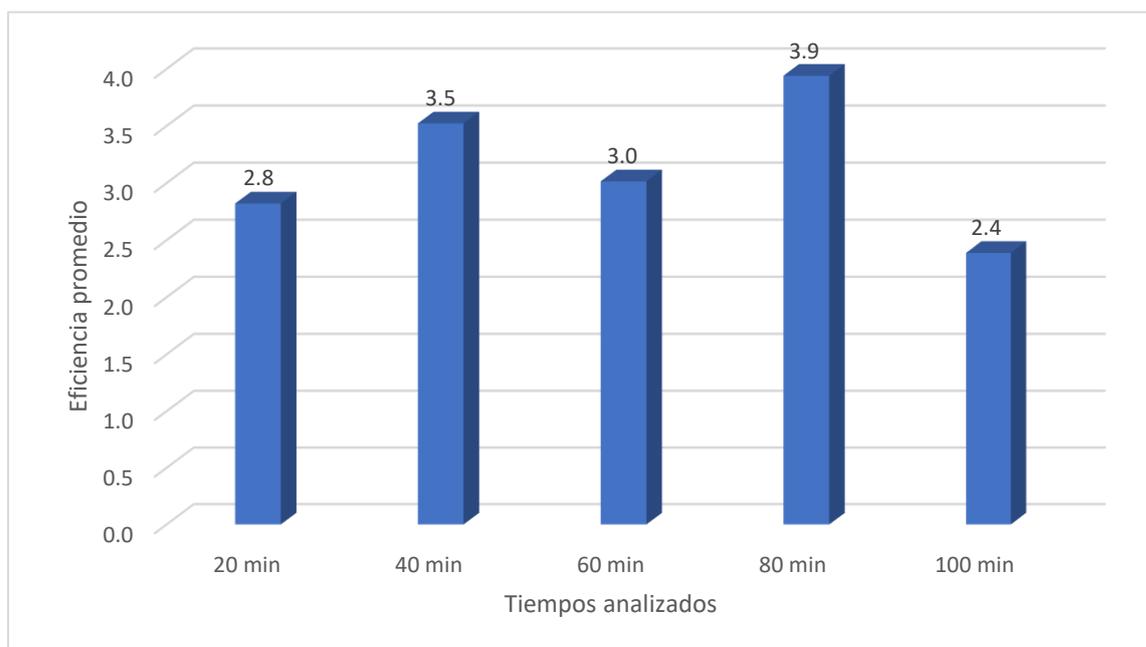
En la tabla anterior, observamos que el parámetro DQO con una concentración inicial de 1340 mg/L, tuvo una reducción de hasta 1287.2 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 24. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7.3	4	2	0.625	0.650
Dentro de grupos	58.8	20	3		
Total	66.1	24	-	-	-

Como Sig=0.650 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 9. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 9, la eficiencia resultó ligeramente mayor en los tiempos de 40 y 80 minutos

Tabla 25. Tratamiento #3 AyG

CONTAMINATE	Aceites y Grasas (AyG)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	225 mg/L				
Corrida Inicial	223	219	215	213	218
Repeticiones					
1	217	213	201	195	207
2	209	210	191	179	194
3	201	199	179	146	178
4	195	186	164	130	152
PROMEDIO	209	205.4	190	172.6	189.8

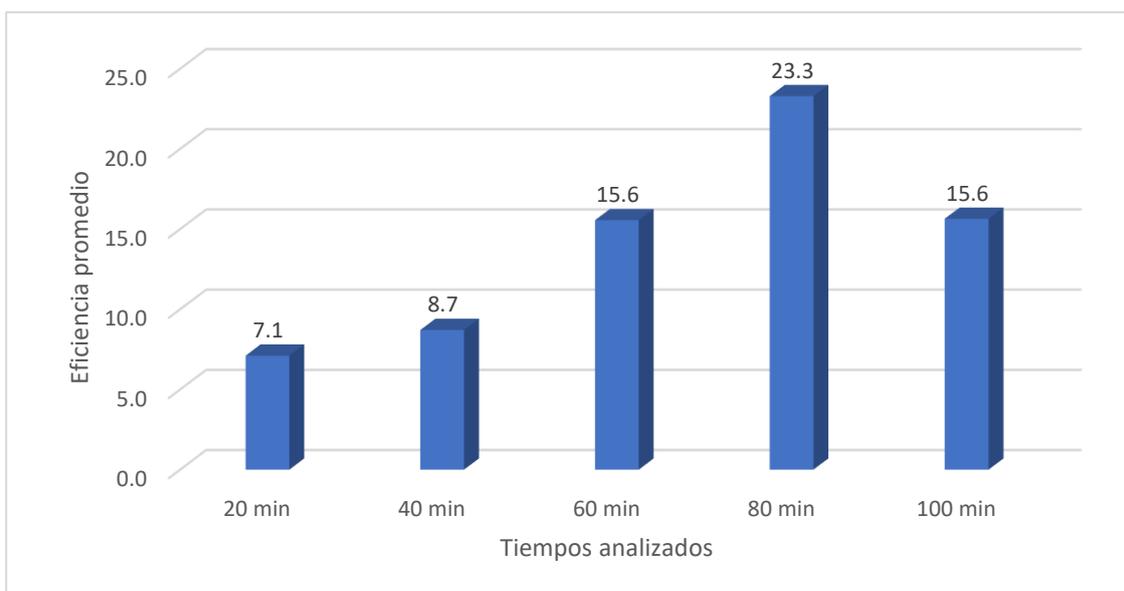
Finalmente, para el tratamiento 3 del proceso fenton el parámetro de Aceites con una concentración inicial de 225 mg/L obtuvo una reducción de concentración de hasta 172.6 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 26. Prueba ANOVA para comparar las eficiencias según tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	834.1	4	209	2.086	0.121
Dentro de grupos	1,998.9	20	100		
Total	2,832.9	24	-	-	-

Como Sig=0.121 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 10. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 10, la mayor eficiencia resultó ligeramente en los tiempos 100, 60 y 80 minutos.

$$eficiencia = \left\{ \frac{\text{concentración inicial} - \text{concentración final}}{\text{concentración inicial}} \right\} 100\%$$

Tabla 27. Concentración final en cada tratamiento fenton

TRATAMIENTOS	PROCESO FENTON			
	Parámetros	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	AyG
	Concentración Inicial	840	1340	225
#1 <ul style="list-style-type: none"> • pH = 5 • H₂O₂ = 100 mg/l • Fe⁺² = 50 mg/l • Tiempo = 80 min 	Concentración Final	684.8	1209.8	203.6
Remoción T#1	%	18%	10%	10%
#2 <ul style="list-style-type: none"> • pH = 7 • H₂O₂ = 150 mg/l • Fe⁺² = 65 mg/l • Tiempo = 80 min 	Concentración Final	494.6	971.4	99.8

Remoción T#2	%	41%	28%	57%
#3 • pH = 9 • H ₂ O ₂ = 175 mg/l • Fe ⁺² = 75 mg/l • Tiempo = 80 min	Concentración Final	803	1287.2	172.6
Remoción T#3	%	4%	4%	23%

De acuerdo a lo obtenido en la tabla anterior, podemos determinar que el proceso Fenton tuvo éxito en el tratamiento número 2, ya que se obtuvo una mayor remoción en los parámetros: DBO (41%), DQO (28%) y AyG (57%), teniendo en cuenta que las especificaciones iniciales de tratamiento fueron a pH 7, H₂O₂ igual a 150 mg/l, Fe⁺² con 65 mg/l y en un tiempo de 80 minutos.

➤ **Tratamiento #1 proceso OZONIZACIÓN:** Este primer tratamiento con ozono se realizó utilizando un volumen de muestra de 2000 ml, con una dosis de agente oxidante Ozono (O₃) de 100 mg, así mismo la dosis del catalizador Óxido férrico (Fe₃O₄) de 0.1 mg/L, y finalmente el pH ajustado a 9

Tabla 28. Tratamiento #1 DBO

CONTAMINATE	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	840 mg/L				
Corrida Inicial	833	829	828	820	815
Repeticiones					
1	832	825	825	815	810
2	834	823	823	813	812
3	829	820	824	810	805
4	827	821	820	808	803
PROMEDIO	831	823.6	824	813.2	809

Tal como se observa en la tabla 28, después de que el agua residual fue sometida a tratamiento de ozonización, el parámetro de DBO, obtuvo una

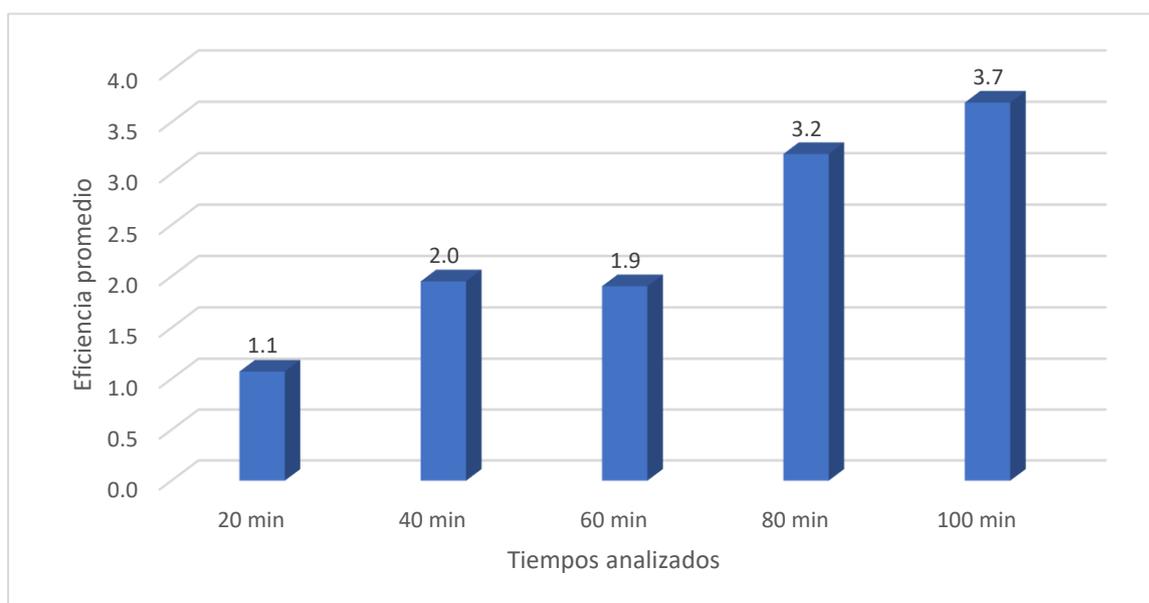
reducción ligeramente significativa en la reducción de su valor de hasta 809 mg/L con respecto a su concentración inicial de 840 mg/L, en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 29. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	22.5	4	5.62	26.075	0.000
Dentro de grupos	4.3	20	0.22		
Total	26.8	24	-	-	-

Como Sig=0.000 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo

Gráfico 11. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



De acuerdo al gráfico 11, la mayor eficiencia se presentó ligeramente en los tiempos de 60 y 80 minutos.

Tabla 30. Prueba de Tukey para comparar la concentración según tiempos

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
20 minutos	5	1.1	-	-
60 minutos	5	1.9	1.9	-
40 minutos	5	-	2.0	-
80 minutos	5	-	-	3.2

100 minutos	5	-	-	3.7
Sig.	-	0.068	1.000	0.454

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Tabla 31. Tratamiento #1 DQO

CONTAMINATE	Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	1340 mg/L				
Corrida Inicial	1334	1333	1339	1335	1331
Repeticiones					
1	1332	1330	1334	1330	1328
2	1329	1328	1330	1328	1320
3	1325	1321	1327	1320	1315
4	1320	1318	1321	1318	1310
PROMEDIO	1328	1326	1330.2	1326.2	1320.8

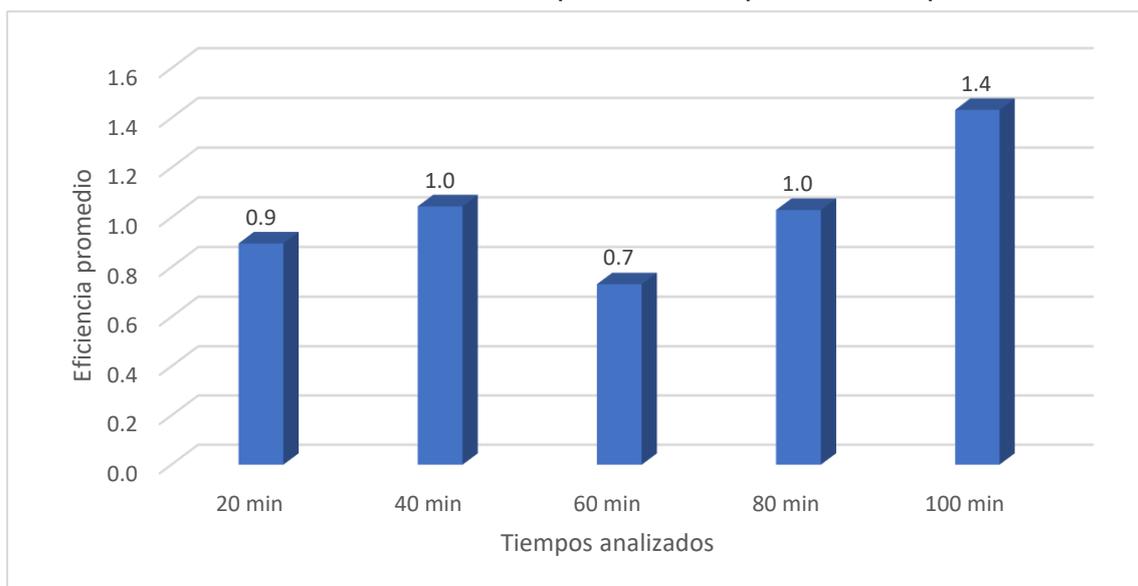
Tal como se observa en la tabla anterior, después de que el agua residual fue sometida a tratamiento de ozonización, el parámetro de DQO, obtuvo una reducción ligeramente significativa en la reducción de su valor de hasta 1320.8 mg/L con respecto a su concentración inicial de 1340 mg/L, en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 32. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.3	4	0.337	1.238	0.327
Dentro de grupos	5.4	20	0.272		
Total	6.8	24	-	-	-

Como Sig=0.327 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 12. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 12, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 80 y 100 minutos

Tabla 33. Tratamiento #1 AyG

CONTAMINATE	Aceites y Grasas (AyG)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	225 mg/L				
Corrida Inicial	223	224	224	221	220
Repeticiones					
1	220	221	223	218	215
2	217	216	221	213	211
3	215	213	222	207	203
4	210	209	220	201	195
PROMEDIO	217	216.6	222	212	208.8

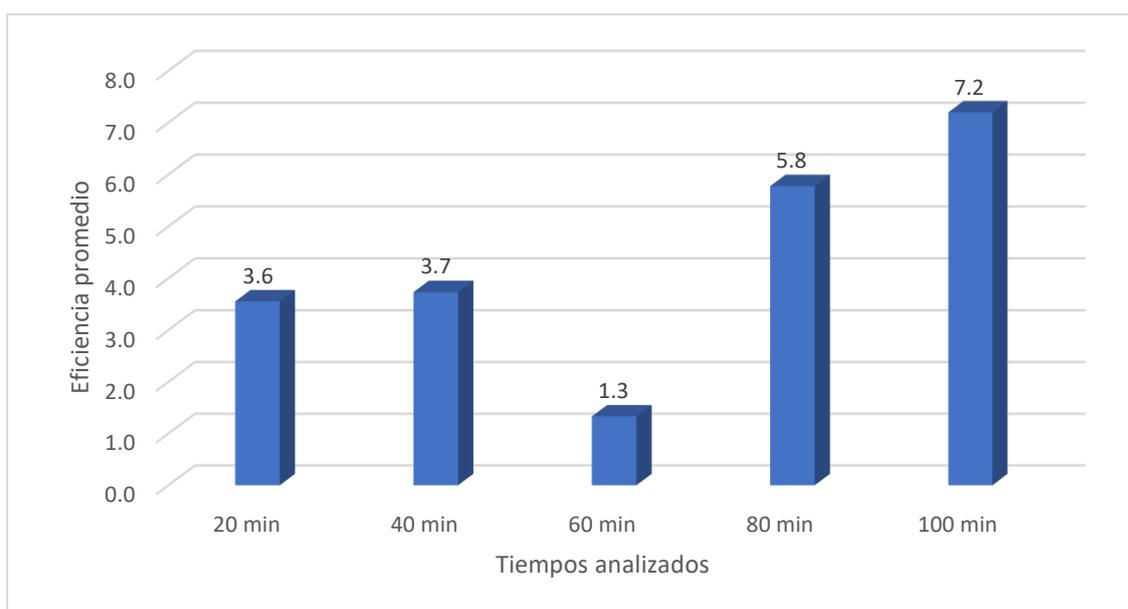
Finalmente, para el tratamiento 1 del proceso de ozonización el parámetro de Aceites y grasas con una concentración inicial de 225 mg/L obtuvo una reducción de concentración de 208.8 mg/L, en un tiempo de 100 minutos

Tabla 34. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	101.3	4	25.335	2.819	0.053
Dentro de grupos	179.8	20	8.988		
Total	281.1	24	-	-	-

Como Sig=0.053 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 13. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 13, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 80 y 100 minutos.

- **Tratamiento #2 proceso OZONIZACION:** Este primer tratamiento con ozono se realizó utilizando un volumen de muestra de 2000 ml, con una dosis de agente oxidante Ozono (O₃) de 200 mg, así mismo la dosis del catalizador Óxido férrico (Fe₃O₄) de 0.2 mg/L, y finalmente el pH ajustado a 6

Tabla 35. Tratamiento #2 DBO

CONTAMINATE	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	840 mg/L				

Corrida Inicial	838	836	834	830	829
1	836	835	830	825	825
2	832	833	828	820	819
3	829	834	825	815	814
4	825	830	820	810	809
PROMEDIO	832	833.6	827.4	820	819.2

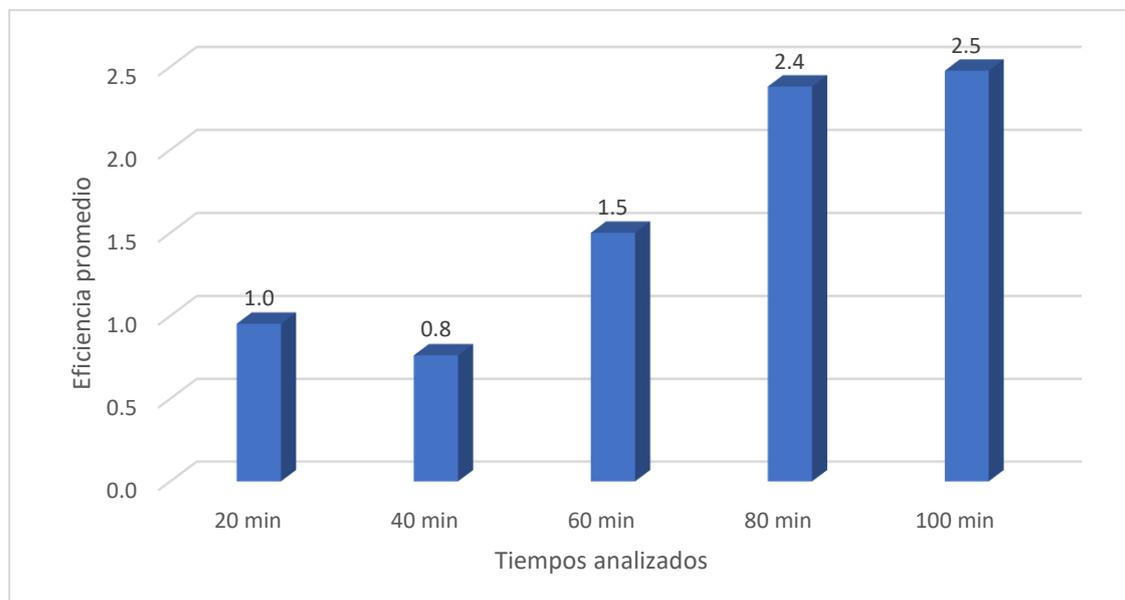
Tal como se observa en la tabla anterior, el parámetro de DBO con una concentración inicial de 840 mg/L, se redujo hasta 819.2 mg/L, en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 36. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	12.5	4	3.135	5.875	0.003
Dentro de grupos	10.7	20	0.534		
Total	23.2	24	-	-	-

Como Sig=0.003 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 14. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 14, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 60 y 80 minutos.

Tabla 37. Prueba de Tukey para comparar la eficacia promedio

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
40 minutos	5	0.8	-
20 minutos	5	1.0	-
60 minutos	5	1.5	1.5
80 minutos	5	-	2.4
100 minutos	5	-	2.5
Sig.	-	0.516	0.253

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

La eficiencia resultó significativamente mayor a los 60, 80 y 100 minutos

Tabla 38. Tratamiento #2 DQO

CONTAMINATE	Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	1340 mg/L				
Corrida Inicial	1336	1330	1325	1321	1318
Repeticiones					
1	1329	1324	1316	1313	1304
2	1324	1316	1302	1305	1292
3	1317	1311	1295	1297	1280
4	1312	1300	1280	1281	1273
PROMEDIO	1323.6	1316.2	1303.6	1303.4	1293.4

En la tabla anterior, observamos que el parámetro DQO con una concentración inicial de 1340 mg/L, tuvo una reducción de hasta 1293.4 mg/L, en un tiempo de 100 minutos

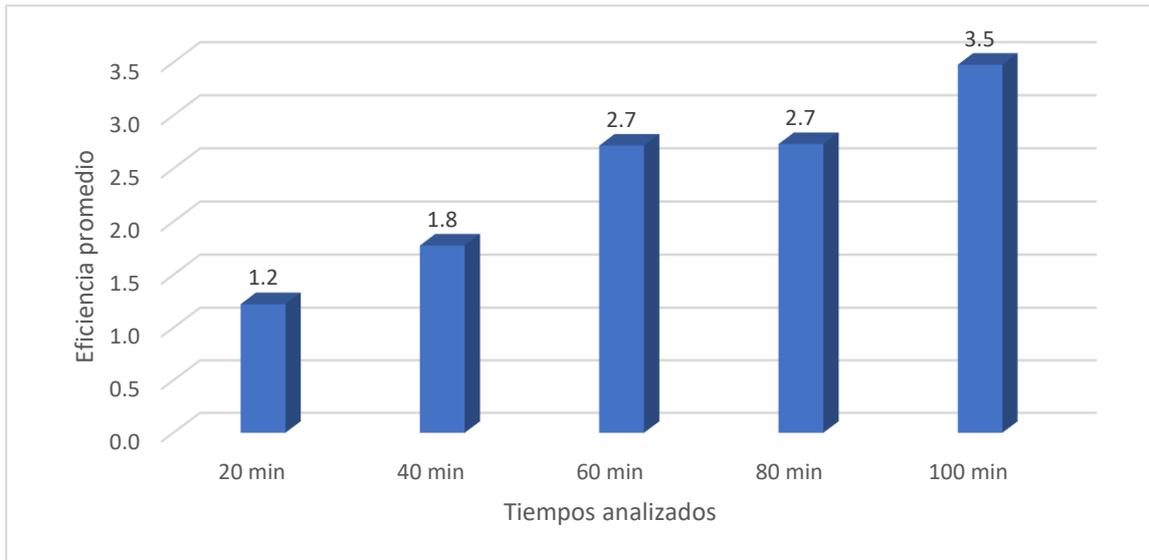
Tabla 39. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.

Entre grupos	15.7	4	3.928	3.199	0.035
Dentro de grupos	24.6	20	1.228		
Total	40.3	24	-	-	-

Como Sig=0.035 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo

Gráfico 15. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 15, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 60 y 80 minutos.

Tabla 40. Prueba de Tukey para comparar la eficacia promedio

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
20 minutos	5	1.2	-
40 minutos	5	1.8	1.8
60 minutos	5	2.7	2.7
80 minutos	5	2.7	2.7
100 minutos	5	-	3.5
Sig.	-	0.238	0.149

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

La eficiencia resultó significativamente mayor a los 40, 60, 80 y 100 minutos

Tabla 41. Tratamiento #2 AyG

CONTAMINANTE	Aceites y Grasas (AyG)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	225 mg/L				
Corrida Inicial	224	220	219	217	221
Repeticiones					
1	220	218	216	214	216
2	215	215	212	210	213
3	214	211	206	204	209
4	210	207	200	199	201
PROMEDIO	216.6	214.2	210.6	208.8	212

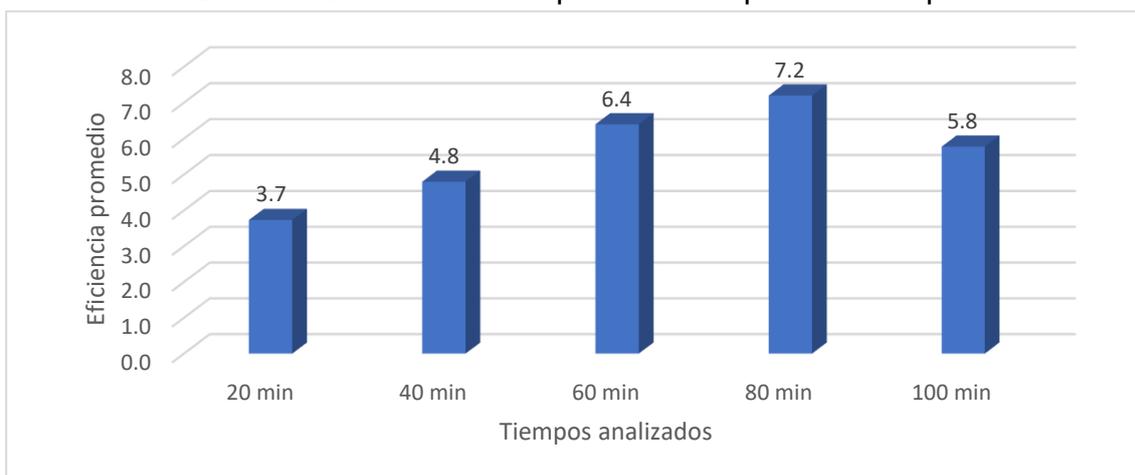
Finalmente, para el tratamiento N° 2 del proceso de ozonización el parámetro de Aceites y Grasas con una concentración inicial de 225 mg/L obtuvo una mejor reducción de concentración de hasta 208.8 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Tabla 42. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	36.8	4	9.193	1.025	0.418
Dentro de grupos	179.4	20	8.968		
Total	216.1	24	-	-	-

Como Sig=0.418 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 16. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 16, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 100, 60 y 80 minutos.

- **Tratamiento #3 proceso OZONIZACION:** Este primer tratamiento con ozono se realizó utilizando un volumen de muestra de 2000 ml, con una dosis de agente oxidante Ozono (O₃) de 300 mg, así mismo la dosis del catalizador Óxido férrico (Fe₃O₄) de 0.3 mg/L, y finalmente el pH ajustado a 3

Tabla 43. Tratamiento #3 DBO

CONTAMINATE	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
	20	40	60	80	100
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	840 mg/L				
Corrida Inicial	830	828	803	797	796
Repeticiones					
1	826	811	889	780	759
2	821	792	856	759	698
3	815	765	832	742	550
4	806	721	814	722	498
PROMEDIO	819.6	783.4	838.4	760	660.2

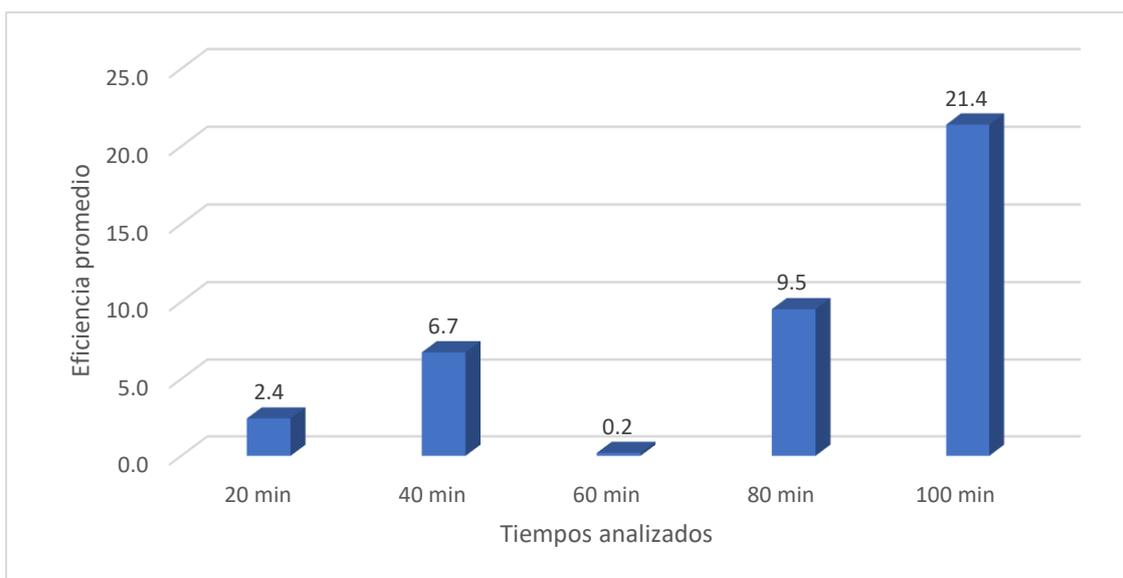
Tal como se observa en la tabla 43, el parámetro de DBO con una concentración inicial de 840 mg/L, se redujo hasta 660.2 mg/L, en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 44. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,381.8	4	345.458	5.818	0.003
Dentro de grupos	1,187.6	20	59.379		
Total	2,569.4	24	-	-	-

Como Sig=0.003 es menor que 0.05 se concluye que la eficiencia es diferente en al menos uno de los diferentes niveles de tiempo

Gráfico 17. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 17, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 100, 40 y 80 minutos.

Tabla 45. Prueba de Tukey para comparar la eficacia promedio

Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
60 minutos	5	0.1	-
20 minutos	5	2.4	-
40 minutos	5	6.7	-
80 minutos	5	9.5	9.5
100 minutos	5	-	21.4
Sig.	-	0.337	0.146

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
 a Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

La eficiencia resultó significativamente mayor a los 80 y 100 minutos

Tabla 46. Tratamiento #3 DQO

CONTAMINATE	Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	1340 mg/L				
Corrida Inicial	1312	1300	1295	1290	1289
Repeticiones					
1	1299	1280	1273	1273	1235

2	1283	1263	1244	1238	1201
3	1262	1225	1210	1216	1149
4	1240	1193	1189	1185	996
PROMEDIO	1279.2	1252.2	1242.2	1240.4	1174

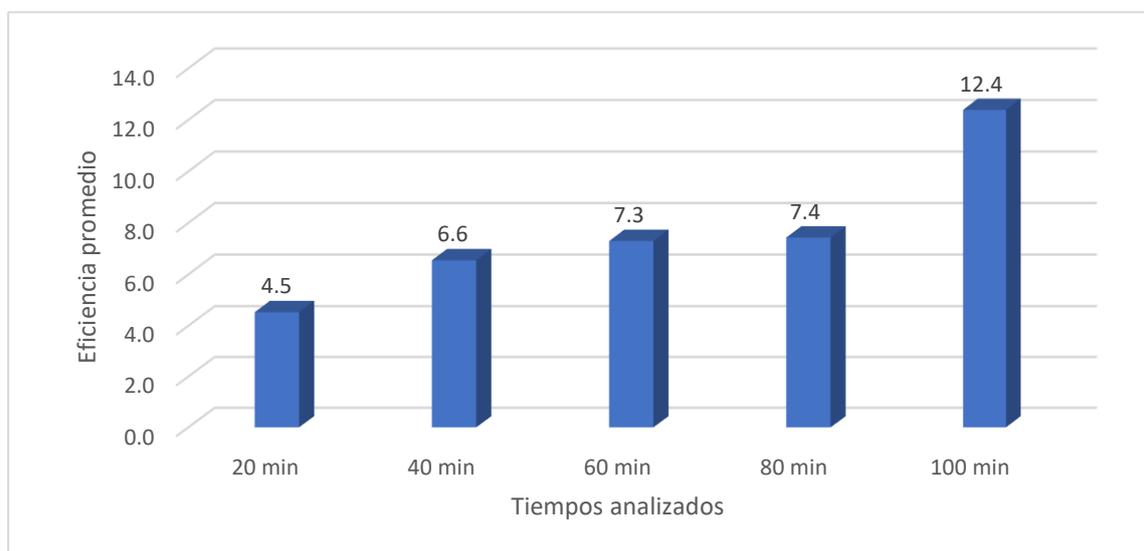
En la tabla anterior, observamos que el parámetro DQO con una concentración inicial de 1340 mg/L, tuvo una mejor reducción de hasta 1174 mg/L, en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 47. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	167.6	4	41.892	1.992	0.135
Dentro de grupos	420.6	20	21.029		
Total	588.1	24	-	-	-

Como Sig=0.135 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 18. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 18, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 100 minutos.

Tabla 48. Tratamiento #3 AyG

CONTAMINATE	Aceites y Grasas (AyG)				
Tiempo (min)	20	40	60	80	100
Concentración Inicial (mg/l)	225 mg/L				
Corrida Inicial	222	220	215	213	209
Repeticiones					
1	209	213	201	200	189
2	205	204	192	184	160
3	194	195	173	147	148
4	183	180	136	125	99
PROMEDIO	202.6	202.4	183.4	173.8	161

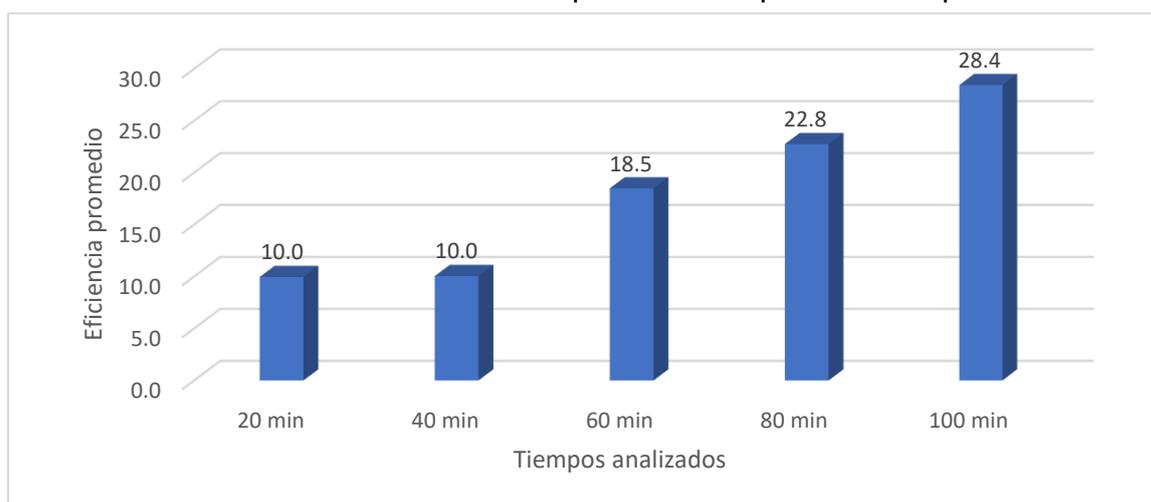
Finalmente, para el tratamiento 3 del proceso de ozonización el parámetro de Aceites y Grasas con una concentración inicial de 225 mg/L obtuvo una mejor reducción de concentración de hasta 161 mg/L, en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 49. Prueba ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,299.6	4	324.907	1.815	0.166
Dentro de grupos	3,580.9	20	179.046		
Total	4,880.5	24	-	-	-

Como Sig=0.166 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia es la misma para los diferentes niveles de tiempo.

Gráfico 19. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 19, la eficiencia resultó significativamente mayor a los 100 minutos.

Tabla 50. Concentración final en cada tratamiento de ozonización

TRATAMIENTOS	PROCESO DE OZONIZACIÓN			
	Parámetros	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	AyG
	Concentración Inicial	840	1340	225
<p>#1</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH = 9 • O₃ = 100 mg • Fe₃O₄ = 0.1 mg/l • Tiempo = 100 min 	Concentración Final	809	1320.8	208.8
Remoción T#1	%	4%	2%	7%
<p>#2</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH = 6 • O₃ = 200 mg • Fe₃O₄ = 0.2 mg/l • Tiempo = 100 min 	Concentración Final	819.2	1303.4	212
Remoción T#2	%	3%	3%	6%
<p>#3</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH = 3 • O₃ = 300 mg • Fe₃O₄ = 0.3 mg/l • Tiempo = 100 min 	Concentración Final	660.2	1174	161
Remoción T#3	%	22%	12%	28%

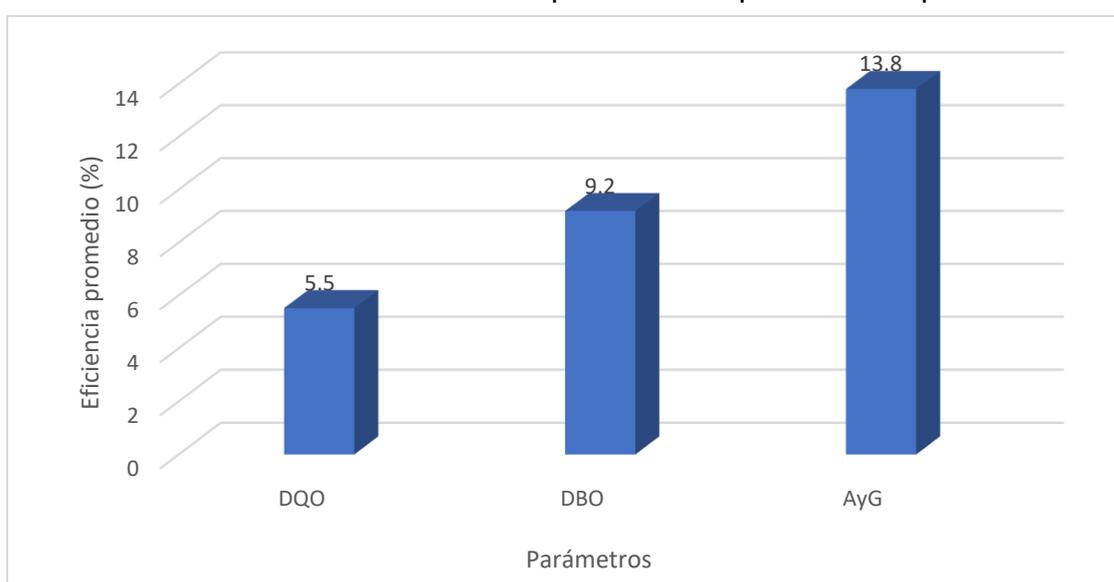
De acuerdo a lo obtenido en la tabla anterior, podemos determinar que el proceso de ozonización tuvo éxito en el tratamiento número 3, ya que se obtuvo una mayor remoción en los parámetros: DBO (22%), DQO (12%) y AyG (28%), teniendo en cuenta que las especificaciones iniciales de tratamiento fueron a pH 3, O₃ igual a 300 mg, Fe₃O₄ con 0.3 mg/l y en un tiempo de 100 minutos.

Tabla 51. Análisis de la ozonización

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	103,531	2	51,766	,502	,628
Dentro de grupos	618,277	6	103,046	-	-
Total	721,808	8	-	-	-

Como Sig= 0.628 es mayor que 0.05 se concluye que la eficiencia en la ozonización resultó significativamente igual

Gráfico 20. Eficiencia del promedio respecto al tiempo



En el gráfico 20, la eficiencia de remoción fue mayor para AyG en un 13.8%.

$$eficiencia = \left\{ \frac{\text{concentración inicial} - \text{concentración final}}{\text{concentración inicial}} \right\} 100\%$$

Tabla 52. Comparación económica de los procesos de oxidación de Fenton y Ozonización

Reactivos y Materiales	Procesos de FENTON	
	Cantidad	Precio total (\$/.)
Sulfato de Hierro Heptahidratado	2 kg	6.00
Hidróxido de Sodio (Na OH)	2 kg	8.00

Peróxido de hidrogeno (H₂O₂)	3 kg	24.00
Policloruro de Aluminio	2 kg	6.00
Sulfato de Aluminio (Al₂(SO₄)₃)	2 kg	10.00
Ácido Sulfúrico	5 L	15.00
Óxido de Hierro	2 kg	25.00
Alquiler de laboratorio	5 días	750.00
Otros materiales	-	500.00
TOTAL		1344.00
Reactivos y Materiales	Procesos de OZONIZACION	
	Cantidad	Precio total (S/.)
Gas de alimentación y compresor de oxígeno	1	2500.00
Filtros	3	1500.00
Magnetita	2 kg	20.00
Ácido Sulfúrico	5 L	15.00
Alquiler de Laboratorio	5 días	750.00
Otros materiales	-	500.00
TOTAL		5285.00

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 52, el proceso Fenton es el viablemente más económico en cuanto a la eliminación de contaminantes para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica

V. DISCUSIÓN

Se identificó la caracterización de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a las aguas residuales de la industria petroquímica tomando a los valores del DBO, DQO, T°, Aceite y grasa, TSS y pH, tomando 15 litro de aguas residuales de la industria petroquímica (el efluente tomado como la muestra fue extraída del tanque de sedimentación de una planta industrial petroquímica) y una vez llevado al laboratorio se estudiaron para determinar los valores que presentan y si sobrepasan los valores máximos admisibles (VMA). Así mismo en el estudio de Santos P. et al., (2020), en el tratamiento de aguas residuales de la industria petroquímica mediante el proceso fenton realizaron la caracterización del agua residual petroquímica, como etapa inicial del trabajo experimental en base a la turbidez, pH, TSS, TOC, entre otros.

La aplicación del proceso Fenton para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica presenta alta eficiencia y en comparación con el proceso de ozonización la eficiencia de remoción de los contaminantes DBO, DQO y AyG es ligera; siendo comprobado mediante los resultados.

Además, mediante los resultados obtenidos se pudo comprobar que el valor del pH, así como el tiempo son parámetros que influyen en el proceso Fenton. Siendo que en los tratamientos Fenton a un pH neutro de 7 ocurre los mayores porcentajes de remoción en un 41%, 28% y 57% para el DBO, DQO y AyG respectivamente, mientras que en un pH 5 el porcentaje de remoción es del 4%, 4% y 23% para el DBO, DQO y AyG respectivamente, lo que se demuestra que ocurre una mayor remoción al presentar una alcalinidad neutra.

Resultados similares se obtuvieron en el trabajo de Dehboudeh et al., (2020); donde aplicó el tratamiento Fenton para la remoción del DQO en aguas petroquímicas, utilizando el peróxido de hidrogeno determinaron que tanto el pH en la solución, la concentración del H₂O₂ y la concentración del agua residual son las responsables de regular las reacciones en el método Fenton para obtener una eficiente remoción.

Es así como se demuestra en la tabla 5, observamos que con una concentración inicial de 1340 mg/L de DQO, este tuvo una reducción de hasta 1209.8 mg/L, en

un tiempo de 80 minutos, en la tabla 8, observamos que el parámetro DQO con una concentración inicial de 1340 mg/L, tuvo una mejor reducción de hasta 971.4 mg/L, en un tiempo de 80 minutos, en la tabla 11 observamos que el parámetro DQO con una concentración inicial de 1340 mg/L, tuvo una reducción de hasta 1287.2 mg/L, en un tiempo de 80 minutos.

Ello es también corroborado por Gamarra et al., (2014); quien menciona que el proceso de oxidación mediante Fenton, permite el tratamiento de efluentes con alto contenido orgánico, que pueden ser utilizados para la mineralización de la materia orgánica, decoloración de fluidos que contienen compuestos orgánicos y reducción de la DQO.

En los resultados obtenidos, se tuvo que a mayor tiempo el promedio de remoción es mayor, siendo así como en los tiempos de 60, 80 y 100 minutos el promedio de remoción es mayor en la mayoría de los casos.

De acuerdo a lo obtenido en los procesos Fenton, podemos determinar que el proceso tuvo éxito, ya que se logró obtener una mayor remoción en los parámetros: DBO, DQO y AyG de hasta el 41%, 28% y 57% respectivamente, teniendo en cuenta que las especificaciones iniciales de tratamiento fueron a pH 7, H₂O₂ igual a 150 mg/l, Fe⁺² con 65 mg/l y en un tiempo de 80 minutos.

Los resultados son respaldados mediante el trabajo experimental de Gong et al., (2022); quien menciona en que un tiempo de 30 minutos las reducciones de los contaminantes serán mayores; por lo que proporcionó consejos útiles a la industria petroquímica para la reducción de la toxicidad y la gestión de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales al aclarar las características de eliminación de contaminantes y el método de reducción de la toxicidad durante los tratamientos Fenton.

Por otro lado, se pudo comprobar mediante los resultados del presente estudio en tablas como 15, 18 y 21 donde se demostró que el proceso de ozonización presenta eficiencia en la remoción del DBO, DQO y ácidos y grasas. Así mismo se apoya los resultados con el trabajo de Hu et al., (2020); donde demostraron que la ozonización presenta eficacia en el enfoque integrado de la eliminación de los contaminantes DQO, color, y Cr del efluente industrial petroquímico,

logrando disminuir los valores iniciales de la caracterización hasta llegar a cumplir con la norma local de vertido.

En el proceso de Ozonización en un pH ácido la remoción es mayor, siendo demostrado mediante la tabla 24, donde el porcentaje de remoción para el DBO, DQO y AyG fue del 22%, 12% y 28% a diferencia de un pH alcalino de 9, donde se obtuvo un porcentaje de remoción del CBO, DQO y AyG en un 4%, 2% y 7% así como en un pH neutro de 7, donde los valores también fueron bajos en un 3%, 3% y 6% para el DBO, DQO y AyG respectivamente.

En los tratamientos de ozonización, se pudo determinar que el proceso tuvo éxito en el tratamiento en un mayor tiempo de 100 min, ya que, se logró obtener mayores remociones en los siguientes parámetros: DBO, DQO y AyG, de hasta un 22%, 12% y 28% respectivamente, teniendo en cuenta que las especificaciones iniciales de tratamiento fueron a pH 4, H₂O₂ igual a 300 mg, Fe₃O₄ con 0.3 mg/l y en un tiempo de 100 minutos.

Así mismo Quispe et al., (2021); aplicando la comparación de varios PAOs, incluyendo la ozonización en un medio alcalino, UV-C/H₂O₂ y procesos foto-Fenton con un pH ácido, los resultados mostraron que los PAOs evaluados pueden ser una alternativa prometedora para eliminar agroquímicos de fuentes naturales, alcanzándose la mayor eliminación de metomilo en agua real con un 99,38% para UV-C/H₂O₂, seguido del proceso fotofenton con un 94,12% de degradación y la ozonólisis en alcalino (pH 11) con un 40% de degradación.

A lo que Levchuk P. et al., 2014 citado en Rubio C. et al., 2014, menciona que entre las desventajas de aplicar el proceso Fenton se encuentra el ajustar antes y después de cada tratamiento el pH, así como el aplicar un post tratamiento para eliminar por completo el contaminante del efluente

Por otro lado, de acuerdo con los resultados de la tabla 23 comparando los resultados obtenidos de los procesos de oxidación de Fenton y Ozonización, para determinar cuál de los dos métodos es el más eficiente en términos de eliminación de contaminantes y viabilidad económica, se tuvo que el proceso Fenton es el más viable en términos económicos.

Es así que los resultados de Shi et al., (2022); comprueban la eficacia de este método utilizando proceso Fenton descubriendo que por debajo de un pH de 3,5, no sólo podría recuperarse más del 90% del Fe(II) regenerado, sino que también podría mantenerse la actividad en los efluentes; este rango de pH vuelve a ser ideal para la extracción de recursos de Fe(II) a partir de lodos digeridos con la oxidación Fenton; además respaldan los resultados del presente estudio concluyendo que el método Fenton permite una reducción de costes de más del 60% y la eliminación cero de residuos.

Así mismo según el proceso Ibarra, Dobrosz y Gomez (2018) el proceso de ozonización es el segundo proceso de entre cuatro procesos que presenta un costo mayor en un valor de 198 soles por m³.

VI. CONCLUSIONES

Se identificaron los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a las aguas residuales de la industria petroquímica obteniendo que los valores de la caracterización como el pH, DBO, DQO y AyG superan los Valores Máximos Admisibles.

La aplicación del proceso Fenton para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica presenta una eficiencia intermedia, con porcentajes mayores al 40%, 28% y 57% para el DBO; DQO y AyG.

La aplicación del proceso de Ozonización presentó una eficiencia baja y menor al proceso Fenton, para la oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica, presentando como mayores porcentajes de remoción del DBO, DQO y AyG en un 22%, 12% y 28%.

En la comparación de los resultados obtenidos de los procesos de oxidación de Fenton y Ozonización, para determinar cuál de los dos métodos es el más eficiente en términos de eliminación de contaminantes y viabilidad económica se tuvo que el proceso Fenton presenta mayor eficiencia en sus promedios de remoción del DBO, DQO y AyG y en términos económicos el proceso Fenton es económicamente más viable.

VII. RECOMENDACIONES

Para obtener una buena eficiencia de remoción en los procesos Fenton y Ozonización se recomienda tomar en cuenta el valor del pH, siendo el ideal para el Fenton un pH neutro y en la Ozonización un pH ácido.

Además, se recomienda emplear tiempos largos tanto en el proceso Fenton como en el de Ozonización, ya que en periodos mayores la remoción incrementa

Para que ocurra el proceso de oxidación Fenton, se recomienda añadir el oxidante a la muestra, de manera gradual en intervalos de pH de 3 a 5 mediante todo el proceso en el que ocurre la oxidación, ya que se podría incrementar la eficiencia de remoción.

Para incrementar la eficiencia del proceso de Ozonización se recomienda aplicar tratamientos con diferentes procesos de ozonización; por ejemplo; poniendo en práctica la Ozonización catalítica con microburbujas, ya que, estudios han mencionado la eliminación de compuestos orgánicos 1,8 veces mayor que en el proceso de ozonización.

REFERENCIA

1. Alan, D. y Cortez, L. (2017). Procesos y fundamentos de la investigación científica. Universidad Técnica de Machala. Ecuador, 127 pp.
ISBN: 978-9942-24-093-4
2. Andreides, Dominik, et al. Performance evaluation of sulfide-based autotrophic denitrification for petrochemical industry wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, vol. 40, p. 101834.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101834>
3. Bahri, Mitra, et al. Integrated oxidation process and biological treatment for highly concentrated petrochemical effluents: a review. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2018, vol. 125, p. 183-196.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.02.002>
4. Bärnighausen, Till, et al. Quasi-experimental study designs series—paper 4: uses and value. *Journal of clinical epidemiology*, 2017, vol. 89, p. 21-29.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2017.03.012>
5. Biswas, Tethi, et al. Bacterial consortium based petrochemical wastewater treatment: From strain isolation to industrial effluent treatment. *Environmental Advances*, 2022, vol. 7, p. 100132.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100132>
6. Boaventura, Karla M., et al. Long-Range Investment Assessment in a Petrochemical Industry: Cost and Safety Considerations. *Computers & Chemical Engineering*, 2022, vol. 161, p. 107737.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107737>

7. Borglum, S. J.; Soeder, D. J. 5-International shale plays. *The Fossil Fuel Revolution: Shale Gas and Tight Oil*, 2019, p. 137-171.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815397-0.00006-9>
8. Cardoso, Inês MF; Cardoso, Rita MF; Da Silva, Joaquim CG Esteves. Advanced oxidation processes coupled with nanomaterials for water treatment. *Nanomaterials*, 2021, vol. 11, no 8, p. 2045.
Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/nano11082045>
9. Castro Maldonado, John Jairo; Gómez Macho, Leidy Katherine; Camargo Casallas, Esperanza. La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 2023, vol. 27, no 75, p. 8-8.
Disponible en:
<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
10. Clews R.J. Chapter 11 - The Petrochemicals Industry. *Project Finance for the International Petroleum Industry*. 2016, Pages 187-203.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800158-5.00011-6>
11. Dehboudeh, Marzie, et al. Experimental investigation of petrochemical industrial wastewater treatment by a combination of integrated fixed-film activated sludge (IFAS) and electro-Fenton methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 6, p. 104537.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104537>
12. Fardin Sadeghfar, Mehrorang Ghaedi, Ziba Zalipour. Chapter 4 - Advanced oxidation. *Interface Science and Technology Volume 32*, 2021, Pages 225-324.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818806-4.00001-2>

13. Gamarra-Güere, Carlos, et al. Decoloración del anaranjado de metilo empleando el sistema fenton. Revista de la Sociedad Química del Perú, 2014, vol. 80, no 1, p. 24-34.

Disponible en:

ISSN 1810-634X

14. Gong, Chenhao, et al. Toxicity reduction of reverse osmosis concentrates from petrochemical wastewater by electrocoagulation and Fered-Fenton treatments. Chemosphere, 2022, vol. 286, p. 131582.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131582>

15. Gupta, Shalini; Pathak, Bhawana. Mycoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. En Abatement of environmental pollutants. Elsevier, 2020. p. 127-149.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00006-0>

16. Hajizadeh, Yaghoub, et al. Environmental and biological monitoring of exposures to VOCs in a petrochemical complex in Iran. Environmental Science and Pollution Research, 2018, vol. 25, p. 6656-6667.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1007/s11356-017-1045-4>

17. Hu, Jinting, et al. An integrated process for the advanced treatment of hypersaline petrochemical wastewater: a pilot study. Water Research, 2020, vol. 182, p. 116019.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116019>

18. Huang, Yuanxing, et al. Catalytic ozonation of organic contaminants in petrochemical wastewater with iron-nickel foam as catalyst. *Separation and Purification Technology*, 2019, vol. 211, p. 269-278.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.080>

19. Ibrahim, Mohamed H.; Banerjee, Aditi; El-naas, Muftah H. Treatment of petroleum industry wastewater: current practices and perspectives. En *Petroleum Industry Wastewater*. Elsevier, 2022. p. 1-6.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85884-7.00015-1>

20. Jain, Mahak, et al. Application of a new baffled horizontal flow constructed wetland-filter unit (BHFCW-FU) for treatment and reuse of petrochemical industry wastewater. *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 325, p. 116443.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116443>

21. James G., Speight PhD, DSc, PhD. Chapter 12 – Petrochemicals. *Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes (Second Edition) 2020*, Pages 511-552.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809923-0.00012-6>

22. Keramati, Mahdieh; Ayati, Bita. Petroleum wastewater treatment using a combination of electrocoagulation and photocatalytic process with immobilized ZnO nanoparticles on concrete surface. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019, vol. 126, p. 356-365.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.04.019>

23. López, Ha Blas, et al. Optimal conditions for oxidizing phenol in water by fenton and Photo-Fenton processes. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2017, vol. 83, no 4, p. 437-441.

Disponible en:

24. Ma, Fu-Xin, et al. Aggregation-induced demulsification technology for the separation of highly emulsified oily wastewater produced in the petrochemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 374, p. 134017.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134017>

25. Maynard, E.; Whapham, C. Quality and supply of water used in hospitals. En *Decontamination in Hospitals and Healthcare*. Woodhead Publishing, 2020. p. 45-69.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102565-9.00003-0>

26. Morone, Amruta; Mulay, Prajakatta; Kamble, Sanjay P. Removal of pharmaceutical and personal care products from wastewater using advanced materials. *Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology*, 2019, p. 173-212.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816189-0.00008-1>

27. Moura, Leonardo; Picão, Renata C. Removal of antimicrobial resistance determinants from wastewater: a risk perspective on conventional and emerging technologies. *Emerging Contaminants in the Environment*, 2022, p. 603-642.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85160-2.00023-8>

28. Quispe Suni, Grecia, et al. Estudio experimental de la degradación del plaguicida metomilo en aguas superficiales aplicando procesos avanzados de oxidación. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2021, vol. 87, no 3, p. 242-260.

Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.351>

29. Rekhate, Chhaya V.; Srivastava, J. K. Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater-A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, 2020, vol. 3, p. 100031.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.ceja.2020.100031>

30. Santos, Paula G., et al. Petrochemical wastewater treatment: Water recovery using membrane distillation. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 267, p. 121985.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121985>

31. Saravanan, A., et al. A detailed review on advanced oxidation process in treatment of wastewater: Mechanism, challenges and future outlook. *Chemosphere*, 2022, p. 136524.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136524>

32. Sarkhel, Riddhi; Ganguly, Preetha. Oil pollution and municipal wastewater treatment: issues and impact. *Advances in Oil-Water Separation*, 2022, p. 57-64.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00016-1>

33. Sarma, Hemen; Bustamante, Karla Liliana Tarango; Prasad, Majeti Narasimha Vara. Biosurfactants for oil recovery from refinery sludge: Magnetic nanoparticles assisted purification. En *Industrial and Municipal Sludge*. Butterworth-Heinemann, 2019. p. 107-132.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00006-4>

34. Segovia-Hernández, Juan Gabriel, et al. Tackling Sustainability Challenges in Latin America and Caribbean from the Chemical Engineering Perspective: A Literature Review in the Last 25 Years. *Chemical Engineering Research and Design*, 2022.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.10.012>
35. Sevda, Surajbhan, et al. Oil and petrochemical industries wastewater treatment in bioelectrochemical systems. En *Integrated Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment*. Butterworth-Heinemann, 2020. p. 157-173.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817493-7.00007-2>
36. Shi, Lu, et al. Zero sludge discharge strategy for Fenton oxidation wastewater treatment technology: Biological regeneration and in-situ cyclic utilization-A feasibility study. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 376, p. 134259.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134259>
37. Tian, Xiangmiao, et al. A comprehensive review on toxic petrochemical wastewater pretreatment and advanced treatment. *Journal of cleaner production*, 2020, vol. 245, p. 118692.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118692>
38. Thomas, Olivier; Causse, Jean; Thomas, Marie-Florence. Aggregate organic constituents. En *UV-Visible spectrophotometry of water and wastewater*. Elsevier, 2017. p. 139-162.
Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63897-7.00004-4>
39. Tudela-Mamani, Juan W. Disponibilidad a pagar por el mejoramiento en el tratamiento de aguas residuales: aplicación del método de valoración

contingente en Puno, Perú. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 2017, vol. 23, no 3, p. 341-352.

Disponible:

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.11.059>

40. Valderrama, Medina; Montero del Águila, Edgar; Cruz Pio, Liz Erika. Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Revista de la Sociedad Química del Perú, 2016, vol. 82, no 4, p. 454-466.

Disponible en:

ISSN 1810-634X

41. VARJANI, Sunita, et al. Treatment of wastewater from petroleum industry: current practices and perspectives. Environmental Science and Pollution Research, 2020, vol. 27, p. 27172-27180.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04725-x>

42. Zhao, Yufei, et al. Layered-double-hydroxide nanosheets as efficient visible-light-driven photocatalysts for dinitrogen fixation. Advanced Materials, 2017, vol. 29, no 42, p. 1703828.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118692>

ANEXOS

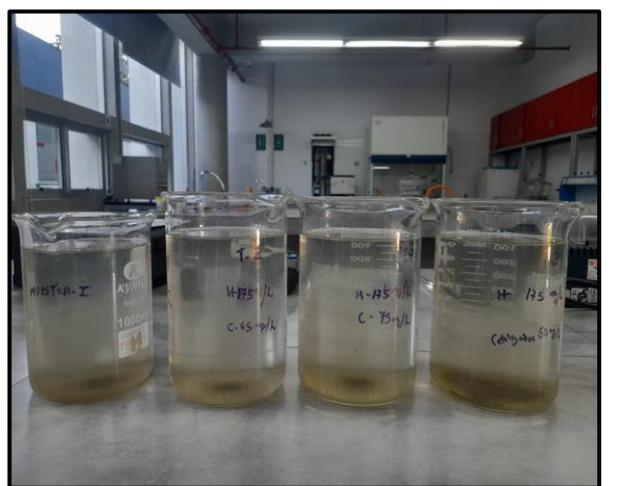
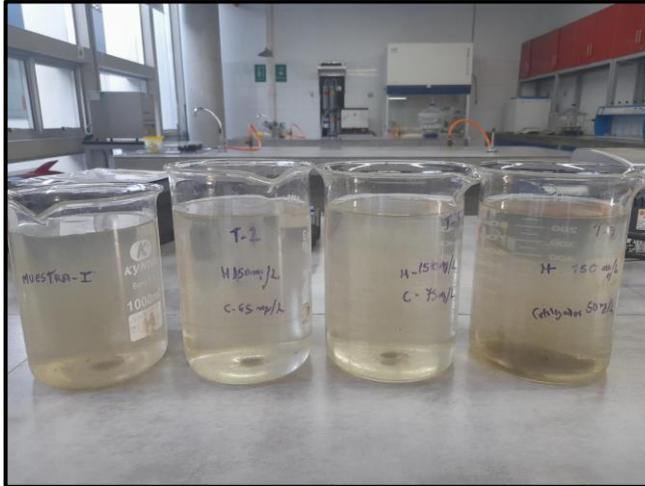
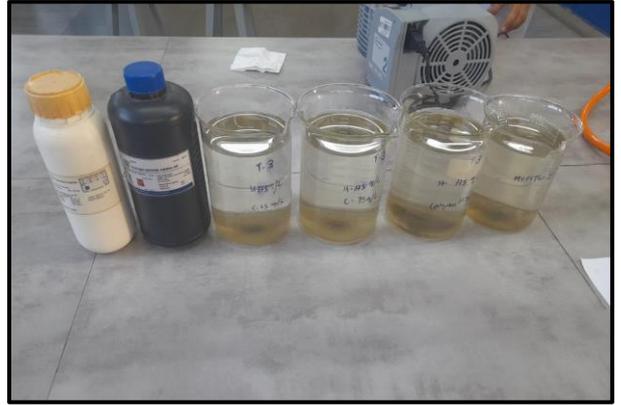
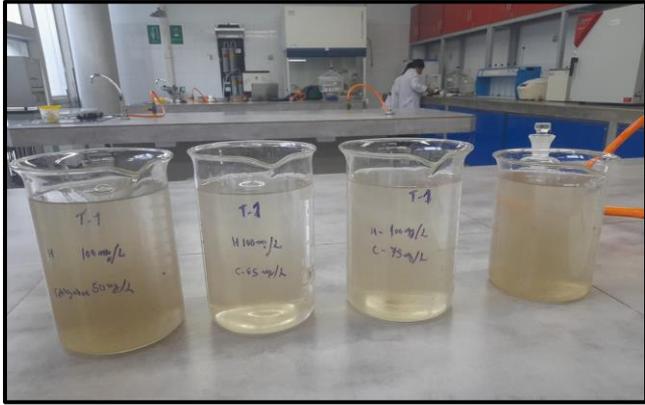
Anexo 1. Matriz de categorización apriorística

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable dependiente	Es el mayor porcentaje que se pueda obtener de la eliminación de materia orgánica (MO) presentes en el agua residual petroquímica, para el cual se utilizará los radicales OH para la oxidación de aquellos MOs que se encuentren más disueltos (Thomas O. et al., 2017, p.3).	Se obtendrá mediante el porcentaje de eficiencia de remoción presentado por cada proceso Fenton y Ozonización, donde se evaluará aquel que reduzca la mayor cantidad de concentración de los materiales orgánicos caracterizados en el agua residual de la industria petroquímica.	Características fisicoquímicas	T°	C°
Eficiencia de Oxidación de aguas residuales de la industria petroquímica				DBO	mg/l
				DQO	mg/l
				Aceite y grasa	mg/l
				TSS	mg/l
			pH	-	
	Relación	Concentración inicial	%		

				Concentración final	%
Variable independiente	Los procesos Fenton y Ozonización son procesos de oxidación que se encargan de eliminar la materia orgánica presente en aguas residuales; empleando en la oxidación Fenton Peróxido de Hidrógeno más Hierro divalente y en la oxidación por ozonización se emplea gas reactivo (Moura L. y Picao R., 2022, p.2), (Maynard E. y Whapham C., 2020, p.45).	El proceso Fenton se llevará a cabo utilizando Peróxido de hidrógeno con diferentes dosis en mg/l con 3 tratamientos de 3 corridas cada con 4 réplicas, así mismo también se variará el tiempo. Mientras que para la ozonización se emplearán diferentes dosis de ozono con diferentes tiempos de proceso.	Proceso Fenton	Volumen	L
Proceso Fenton y Ozonización				Dosis de oxidante	mg/L
				Dosis catalizador	mg/L
				pH	-
				Tiempo	Min.
			Proceso Ozonización	Volumen	L
Dosis de oxidante				mg/L	
Dosis catalizador				mg/L	
pH				-	
Tiempo	Min.				

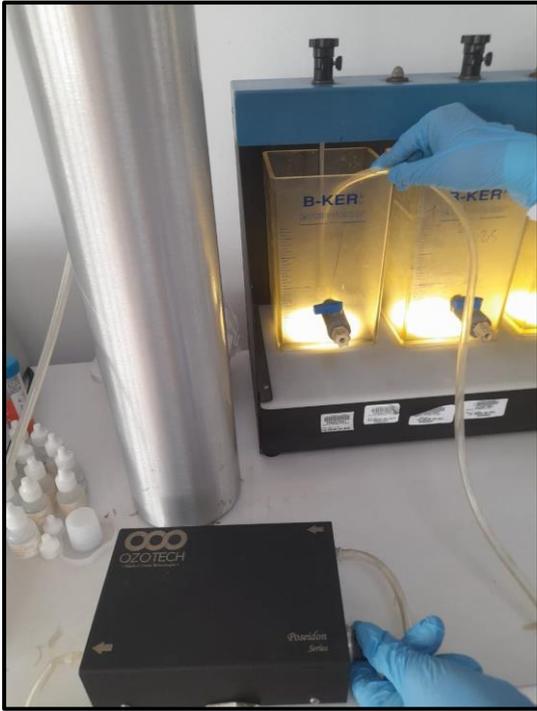
Anexo 2. Fotografías de Laboratorio











Anexo 3. Certificados de calibración de equipos utilizados



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PFQ-023-2022

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Trazabilidad		Patrón de PRESITEC	
Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certif. / Inf. Calibración	
Disolución Tampón 4.00 PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt. 190265/A U(k=2) ±0,14	SI Analytics GmbH DIN 55 350	
Disolución Tampón 7.00 PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt.1160115/A U(K=2) ±0,13	SI Analytics GmbH DIN 55 350	
Disolución Tampón 10.00 PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt.170124/A U(k=2) ±3	SI Analytics GmbH DIN 55 350	
Disolución Tampón 12.83 mS PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt.170124/A U(k=2) ±3	SI Analytics GmbH DIN 55 350	

Condiciones Ambientales

Condiciones Ambientales	Minima	Máxima
Temperatura	20.3 °C	20.8 °C
Humedad Relativa	66 %	69 %

Resultados de Calibración

Temperatura de Ensayo (°C)	Valor Certificado	Lectura de equipo	Error	Incertidumbre
	pH	pH	pH	pH (k=2)
25.0	4.00	3.99	-0.01	0.14
24.3	7.00	7.01	0.01	0.14
24.6	10.01	10.02	0.01	0.15

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

.....
Fin del Certificado de Calibración

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PFQ-023-2022

Página 1 de 2

Explante : QTF23-002
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV, PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO
Instrumento : MEDIDOR DE PH
Alcance de Indicación : 0.00 pH a 14.0 pH
Div. Min. de Escala (d) (*) : 0.01 pH
Clase de Exactitud : No Indica
Marca : CRISON
Modelo : BASCI 20
Tipo de Indicación : Digital
Procedencia : No Indica
Número de Serie : 234053
Código de Identificación : No Indica
Ubicación : LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA
Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración Empleado

Método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del instrumento y disoluciones patrón. Tomando como referencia el procedimiento INDECOPISNM PC-020: 2010 "Procedimiento de calibración de medidores de pH"

Observaciones

(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) del equipo.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(**) Se adhirió una etiqueta "Calibrado" al equipo indicando la fecha de realizado.



HCPFQ-05-Rev 00

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
 PT-038-2022**

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Temperatura del INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD INACAL-DM en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Patrón Utilizado Proyectos Pesacon S.A.C.	Certificado de Calibración
Termometro de indicación Digital con incertidumbre del orden de 0,024 °C	INACAL-DM LT-237-2021

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	21,3	21,5
Humedad (%)	60	61

Resultados de Calibración

INDICACION DEL EQUIPO (°C)	INDICACION DEL PATRON (°C)	CORRECCION (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
100	101,7	1,7	0,9

Incertidumbre

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104:2009) "Guía para la Expresión de la incertidumbre en las Mediciones", La cual sugiere desarrollar un modelo matematico que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

.....
 Fin del certificado de calibración

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT24 - 2022"

Página 1 de 5

Expediente : OTF22-002
Solicitante : UNIVERSIDAD CEBAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 840 - SAN JUAN DE LURIGANCHO

Equipo de Medición : ESTUFA
Marca : DAIHAN
Modelo : THERMO STABLE OF50
Procedencia : No Indica
Código de Identificación : No Indica
Número de Serie : D007 006279
Temperatura de trabajo : 100°C
Ventilación : NATURAL
Lugar de Calibración : LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA
Carga : 0%

Nombre	Marca/ Modelo	Código de Identificación	Alcance de indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Controlador de Temperatura	NO INDICA	NO INDICA	5 A 250 C	0,1 °C	Digital

Fecha de Calibración : 2022-11-30
Fecha de Emisión : 2022-12-01

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó empleando el Método de Comparación Directa entre las indicaciones de lectura del controlador de temperatura del equipo a calibrar y un termómetro digital con 10 termopares, utilizando el Procedimiento de INDECOP/ISNM "PC-018, Ed. 02 - Junio 2009: Procedimiento para la Calibración o Caracterización de Medios Isotermos con Aire como Medio Termostático".

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20.2	20.4
Humedad (%)	65	66

Observaciones

- Se programó el controlador del equipo en 43,0 °C para temperatura de trabajo.
 - El tiempo de calentamiento fue de 83 minutos y estabilización del equipo fue de aproximadamente 60 minutos.
 - La tolerancia usada es de 1,0 °C según proceso indicado por el usuario.
- Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
- PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
- El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
- El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT24 - 2022"

Página 2 de 5

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Temperatura del Instituto Nacional de Calidad INACAL-DM en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Patrón de Referencia	Certificado / Informe de Calibración	Patrón Utilizado PRESITEC	Certificado / Informe de Calibración
Termómetro de indicación Digital con incertidumbre del orden de 0.021 °C a 0,07 °C	INACAL-DM LT-237-2021	Indicador Digital (PT-04) datalogger 10 sensores (K 1-16) con incertidumbre del orden de 0.3 °C	PRESITEC SAC PM-005-2022

Resultados de la calibración:

CALIBRACION PARA 100 C

TIEMPO (min.)	T ind. (°C) Termómetro del equipo	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom. (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.80
2	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.80
4	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
6	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
8	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
10	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
12	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.70
14	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.90
16	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
18	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
20	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.80
22	98.8	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.80
24	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.4	100.1	100.0	0.85
26	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
28	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
30	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
32	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.80
34	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.80
36	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
38	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
40	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
42	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.80
44	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.80
46	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.80
48	100.0	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.85
50	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.70
52	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.80
54	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
56	100.0	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.70
58	100.1	100.0	100.0	99.99	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.1	100.1	100.0	0.70
60	100.2	99.1	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.1	100.5	100.2	100.4	0.85
T.PROM	100.1	99.7	100.0	100.0	99.9	100.0	100.0	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2	
T.MAX	100.2	100.1	100.2	100.1	99.9	100.2	100.1	100.0	100.0	100.5	100.1		
T.MIN	98.8	99.6	99.9	99.9	99.8	99.8	99.9	99.9	99.8	99.8	42.9		
DTT	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1		

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT24 - 2022"**

Página 3 de 5

PARÁMETRO	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	100,4	0,4
Mínima Temperatura Medida	99,5	0,5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,25	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	0,6	0,3
Estabilidad Medida	± 0,1	0,04
Uniformidad Medida	0,7	0,3

T.PROM. : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

T.prom. : Promedio de la temperatura en las diez posiciones de medición para un instante dado.

T.MAX. : Temperatura máxima

T.MIN. : Temperatura mínima

DTT. : Desviación de Temperatura en el tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del medio isoterma: **0,5 °C**

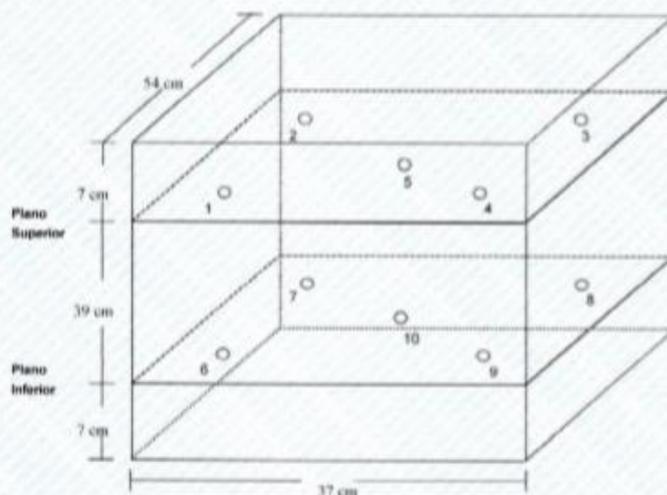
La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ máx. DTT.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT24 - 2022"**

Página 5 de 5

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los termopares del 1 al 5 están ubicados a 1,5 cm por encima de la bandeja superior.
Los termopares del 6 al 10 están ubicados a 1,5 cm por debajo de la bandeja superior.
Los termopares 5 y 10 están ubicados en el centro del plano superior e inferior, respectivamente.

Los termopares del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 4 cm de las paredes laterales y a 4 cm del frente y fondo de la incubadora.

Incertidumbre

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100:en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML G1-101:en: 2008 (JCGM 101:2008) "Guía para la Expresión de la incertidumbre en las Mediciones", La cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La incertidumbre de medición reportada se denomina incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor $k=2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

.....
Fin del certificado de calibración.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT-019 - 2022"**

Página 1 de 5

Expediente : OTF22-002
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO

Equipo de Medición : INCUBADORA
Marca : VELP SCIENTIFICA
Modelo : FTC 901
Procedencia : No indica
Código de Identificación : No indica
Número de Serie : 203914
Temperatura de trabajo : 25°C
Ventilación : NATURAL
Lugar de Calibración : LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA
Carga : 0%

Nombre	Marca/ Modelo	Código de identificación	Alcance de indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Controlador de Temperatura	NO INDICA	NO INDICA	3 A 50 C	0,1 °C	Digital

Fecha de Calibración : 2022-11-30

Fecha de Emisión : 2022-12-01

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó empleando el Método de Comparación Directa entre las indicaciones de lectura del controlador de temperatura del equipo a calibrar y un termómetro digital con 10 termopares, utilizando el Procedimiento de INDECOPUSNM "PC-018:Ed. 02 - Junio 2009: Procedimiento para la Calibración o Caracterización de Medios Isotermos con Aire como Medio Termostático".

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20.2	20.4
Humedad (%)	65	66

Observaciones

- Se programó el controlador del equipo en 43,0 °C para temperatura de trabajo.
 - El tiempo de calentamiento fue de 63 minutos y estabilización del equipo fue de aproximadamente 60 minutos.
 - La tolerancia usada es de 1,0 °C según proceso indicado por el usuario.
- Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
- PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
- El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
- El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



HCT-02 Rev.00

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT - 019 - 2022

Página 2 de 5

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Temperatura del Instituto Nacional de Calidad INACAL DM en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLLMP)

Patrón de Referencia	Certificado / Informe de Calibración	Patrón Utilizado PRESITEC	Certificado / Informe de Calibración
Termómetro de indicación Digital con incertidumbre del orden de 0,021 °C a 0,07 °C	INACAL DM LT-237-2021	Indicador Digital (PT-04) datalogger 10 sensores (x 1-10) con incertidumbre del orden de 0,3 °C	PRESITEC SAC PM-005-2022

Resultados de la calibración:

CALIBRACIÓN PARA 43 °C

TIEMPO (min)	T ind. (°C) Termómetro del equipo	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom. (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	25.0	43.1	43.0	43.1	43.0	43.2	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.60
2	43.0	43.1	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.60
4	43.0	43.1	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.65
6	43.0	43.0	43.0	43.1	43.0	43.2	42.8	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.65
8	43.0	43.1	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.65
10	43.1	43.1	43.0	43.0	43.0	43.2	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.70
12	43.1	43.1	43.0	43.1	43.0	43.2	42.7	43.4	43.1	42.8	43.0	43.0	0.60
14	43.1	43.1	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.65
16	43.1	43.0	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.7	43.0	43.0	0.65
18	43.0	43.0	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.7	43.0	43.0	0.60
20	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.2	42.7	43.3	43.1	42.7	43.0	43.0	0.60
22	43.0	43.1	43.1	43.1	43.1	43.1	42.7	43.3	43.2	42.8	42.9	43.0	0.60
24	43.0	43.1	43.1	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	43.0	43.0	0.55
26	43.0	43.0	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.2	43.1	42.8	43.0	43.0	0.65
28	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.1	42.8	43.3	43.1	42.8	42.9	43.0	0.65
30	42.9	43.0	42.9	43.0	42.9	43.1	42.8	43.2	43.1	42.7	42.9	42.9	0.55
32	42.9	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	42.6	43.1	43.0	42.7	42.9	42.9	0.50
34	42.9	43.0	43.0	43.0	42.9	43.0	42.6	43.2	43.0	42.7	42.9	42.9	0.60
36	42.9	42.9	42.9	43.0	42.9	43.0	42.6	43.1	43.0	42.7	42.9	42.9	0.65
38	43.0	42.9	42.8	43.0	42.9	43.0	42.5	43.1	43.0	42.6	42.9	42.9	0.60
40	43.0	43.0	42.9	43.0	42.9	43.2	42.5	43.1	42.9	42.7	43.0	42.9	0.65
42	43.0	42.9	42.9	42.9	42.9	43.0	42.6	43.2	43.0	42.7	42.9	42.9	0.60
44	43.0	43.0	43.0	43.1	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	42.9	43.0	0.60
46	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.3	43.0	42.8	42.9	43.0	0.60
48	42.9	43.0	42.9	42.9	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.8	42.9	43.0	0.65
50	42.9	43.1	43.0	43.0	43.0	43.1	42.8	43.3	43.0	42.8	43.0	43.0	0.70
52	42.9	43.1	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.7	43.0	43.0	0.60
54	42.9	43.1	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.3	43.1	42.7	43.0	43.0	0.65
56	42.9	43.1	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.4	43.1	42.8	43.0	43.0	0.70
58	42.9	43.1	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.4	43.1	42.8	43.0	43.0	0.70
60	42.9	43.0	43.0	43.0	43.0	43.1	42.7	43.3	43.2	42.8	43.0	43.0	0.65
T.PROM	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.1	42.6	43.3	43.1	42.7	42.9	43.0	
T.MAX	43.1	43.1	43.1	43.1	43.2	42.7	43.4	43.2	42.8	43.0			
T.MIN	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	43.0	42.5	43.1	42.9	42.6	42.9		
DTT	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1		

HCT-02 Rev.00

**CERTIFICADO DE CALIBRACION
PT - 019 - 2022**

Página 3 de 5

PARÁMETRO	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	43.8	0.4
Mínima Temperatura Medida	42.5	0.5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0.25	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	0.6	0.3
Estabilidad Medida	± 0.1	0.04
Uniformidad Medida	0.7	0.3

T.PROM. : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T.prom. : Promedio de la temperatura en las diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX. : Temperatura máxima
T.MIN. : Temperatura mínima
DTT. : Desviación de Temperatura en el tiempo.

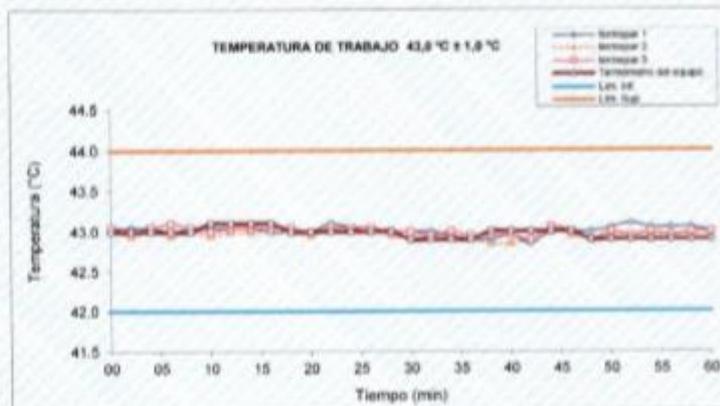
Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

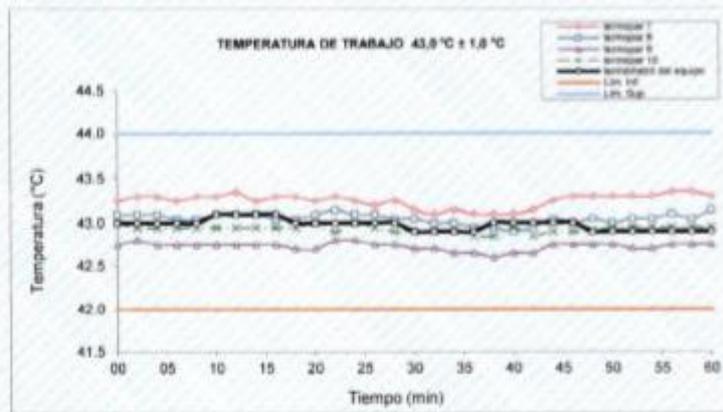
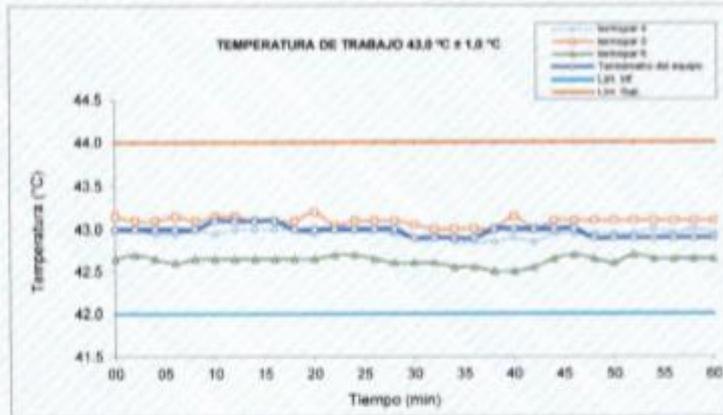
Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del medio isotermo: **0.8 °C**

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ máx. DTT.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT - 019 - 2022



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PQ-0011-2022

Página 1 de 2

Expediente : OTF22-002
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 840 - SAN JUAN DE LURIGANCHO

Instrumento : COLORMETRO PORTATIL

Alcance de Indicación : 810 nm
Gama dimension onda : 420 nm a 820 nm
Clase de Exactitud : No indica

Marca : HACH
Modelo : DR 890
Tipo de Indicación : Digital
Procedencia : USA
Número de Serie : D07 008154
Código de Identificación : No indica
Ubicación : LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA

Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración: Empleado

Método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del instrumento y disoluciones patrón.

Observaciones

(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) del equipo.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(**) Se adhirió una etiqueta "Calibrado" al equipo indicando la fecha de realizado.



Página 2 de 2

HCFQ-05-Rev 00

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PQ-0011-2022

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Trazabilidad	Patrón de PRESITEC	
	Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo
REACTIVO		
	IK 1286-2021	INAC 4521-2021

Condiciones Ambientales

	Mínima	Máxima
Temperatura	20.3 °C	20.8 °C
Humedad Relativa	64 %	66 %

Resultados de Calibración

VALOR VACIO (°C)	Valor Certificado	Lectura de equipo	Error	Incertidumbre 0 (k=2)
	0	0	0	0
420 nm	420.00	420.00	0.00	0.00
520 nm	520.00	520.00	0.00	0.00
560 nm	560.00	560.00	0.00	0.00
610 nm	610.00	610.00	0.00	0.00

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

 Fin del Certificado de Calibración

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Y TRAZABILIDAD

N° PF-005-2022

Fecha de emisión: 2022-11-30
Expediente: 005-2022

UNIDAD BAJO PRUEBA: FLOCULADOR
 Marca: VELP SCIENTIFICA
 Modelo: JLT6
 Serie: 227324
 Identificación: NO INDICA
 Ubicación: MICROBIOLOGIA

Alcance de indicación: 0 rpm a 300 rpm
 División de escala: 1 rpm
 Procedencia: NO INDICA

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
 Dirección: AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO

DE LA CALIBRACIÓN: Fecha: 2022-11-30
 Lugar: LAB. BIOTECNOLOGIA - UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
 Método: Comparación directa con tacómetro patrón.

CONDICIONES AMBIENTALES:

	Inicial	Final
Temperatura	20.3 °C	20.3 °C
Humedad Relativa	60 %	61 %

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
NIST	Tacómetro Digital	LTF-C125-2021 INACAL DM

RESULTADO DE LAS MEDICIONES:

VALOR NOMINAL DEL EQUIPO (rpm)	INDICACIÓN DEL PATRÓN	CORRECCIÓN (rpm)	INCERTIDUMBRE (rpm)
10	9.9	-0.1	1
150	150.6	0.6	1
300	301.0	1.0	1

La incertidumbre de la medición que se presenta está basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

OBSERVACIONES:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.



Responsable del Laboratorio
Edgar Gulden
 Jefe de Metrología