

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-
FLOCULACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA DQO DE AGUAS RESIDUALES
DE FLUIDOS DE CORTE DE LA INDUSTRIA METAL-MECÁNICA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TANIA ANTUANET ANDIA MARRON
ANTONY FIDEL CRISPIN MENDOZA
GERARDO DAVID BAEZ QUISPE

Three handwritten signatures in blue ink are written over horizontal lines. The signatures appear to be for Tania Antuanet Andia Marron, Antony Fidel Crispin Mendoza, and Gerardo David Baez Quispe.

Callao, 2021

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 3

ACTA N° 006-2021 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 9 ACTA N°006-2021 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 02 días del mes de octubre del año 2021, siendo las 16:02 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/azq-yihb-ji>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Mg.	Teófilo Allende Ccahuana	: Presidente
Mtro.	Américo Carlos Milla Figueroa	: Secretario
Blgo.	Carlos Odorico Tome Ramos	: Vocal
Ms.C.	Alex Willy Pilco Nuñez	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de la Bachiller Tania Antuanet Andía Marron, Antony Fidel Crispin Mendoza y Gerardo David Baez Quispe, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA DQO DE AGUAS RESIDUALES DE FLUIDOS DE CORTE DE LA INDUSTRIA METAL-MECÁNICA"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Bueno y calificación cuantitativa Catorce (14), la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018

Se dio por cerrada la Sesión a las 17:30 horas del día sábado 02 de octubre del año en curso.

Presidente

Secretario

Vocal

Asesor

DEDICATORIA

Dedicado a Dios y a nuestros amados padres, quienes nos dan su apoyo incondicional durante el desarrollo de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a Dios por darnos un día más de vida y poner a personas maravillosas en nuestro camino.

A nuestros padres, por brindarnos todo lo que estuvo a su alcance para nuestro desarrollo profesional.

A nuestro asesor, M.Sc. Alex Willy Pilco Nuñez por todo el apoyo en el proceso de elaboración de nuestra tesis.

Por último, agradecer a todas aquellas personas que fueron guía durante la elaboración y término del trabajo de investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.4. Limitantes de la Investigación	18
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. Internacional.....	20
2.1.2. Nacional.....	23
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1. Fluidos de corte.....	23
2.2.2. Emulsiones de aceite en agua	29
2.2.3. Técnicas de tratamiento de las aguas residuales de fluidos de corte (ARFC).....	35
2.2.4. Proceso de coagulación-floculación	40
2.3. Conceptual.....	49
2.3.1. Fluidos de corte acuosos agotados.....	49
2.3.2. Aguas residuales de fluidos de corte (ARFC).....	51
2.3.3. Normativa ambiental aplicado a las ARFC	51
2.3.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	53

2.3.5. Cloruro férrico	53
2.3.6. Floculante Chemlok 2040.....	54
2.4. Definición de términos básicos.....	55
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	58
3.1. Hipótesis	58
3.2. Definición conceptual de variables	58
3.2.1. Operacionalización de variables.....	59
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	61
4.1. Tipo y diseño de investigación	61
4.1.1. Tipo de investigación.....	61
4.1.2. Diseño de la investigación.....	61
4.2. Método de investigación.....	70
4.3. Población y muestra.....	71
4.3.1. Población	71
4.3.2. Muestra	71
4.4. Lugar de estudio y período desarrollado	71
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	71
4.6. Análisis y procesamiento de datos	73
V. RESULTADOS	75
5.1. Resultados descriptivos	79
5.1.1. Reducción de la DQO en porcentaje	79
5.1.2. Efecto de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO	81
5.1.3. Efecto de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO	82
5.2. Resultados inferenciales	84
5.2.1. Factores del proceso de coagulación-floculación que tienen mayor influencia en la reducción de la DQO	84

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	86
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	86
6.1.1. Contrastación y demostración de la hipótesis general.....	86
6.1.2. Contrastación y demostración de hipótesis específicas.....	86
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	88
6.3. Responsabilidad ética	90
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	100
Anexo 1 Matriz de Consistencia	100
Anexo 2 Informe de ensayo de la caracterización de fluidos de corte de la metalmecánica CUNIPER S.A.C.	101
Anexo 3 Informe de ensayo de los resultados de las 32 pruebas experimentales (16 tratamientos con 2 réplicas) respecto a la DQO	104
Anexo 4 Fichas de registro de datos de la prueba de jarras	108
Anexo 5 Ficha técnica del cloruro férrico	109
Anexo 6 Ficha técnica del floculante aniónico Chemlok 2040.....	110
Anexo 7 Ficha técnica de hidróxido de calcio (cal apagada).....	111
Anexo 8 Fichas técnicas de máquinas de la metalmecánica CUNIPER S.A.C. ...	112
Anexo 9 Criterios especiales para la aceptación y conservación de muestras (agua).....	116
Anexo 10 Tabla de Durbin-Watson al nivel de significación del 5%.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición de fluidos de corte acuosos - diferentes fichas técnicas	26
Tabla 2.2 Composición aproximada de los diferentes tipos de fluidos de corte	29
Tabla 2.3 Métodos para la remoción de aceites y otros contaminantes de las aguas residuales de fluidos de corte	36
Tabla 2.4. Anexo N°1 de los Valores Máximos Admisibles (VMA).....	52
Tabla 2.5 Anexo N°2 de los Valores Máximos Admisibles (VMA).....	52
Tabla 3.1 Operacionalización de variables	60
Tabla 4.1 Factores y niveles del proceso de coagulación-floculación	62
Tabla 5.1 Resultados de la concentración final de la DQO y su reducción en porcentaje para diferentes tratamientos	79
Tabla 5.2 Valores de los factores del proceso de coagulación-floculación para la reducción de la DQO mínima y máxima en porcentaje	81
Tabla 5.3 Interpretación de los efectos de cada factor en la reducción de la DQO	82
Tabla 5.4 Interpretación de los efectos las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO.....	83
Tabla 5.5 Análisis de varianza de la reducción de la DQO en porcentaje respecto a los factores A, B, C, D y sus interacciones.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Incidencia del fluido de corte durante la operación de mecanizado	24
Figura 2.2 Clasificación de los Fluidos de Corte.....	25
Figura 2.3 Humectación y ángulo de contacto.....	31
Figura 2.4 Doble capa eléctrica alrededor de una gota de aceite cargado negativamente y la distribución del potencial eléctrico a su alrededor	32
Figura 2.5 Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones.....	33
Figura 2.6 Coagulación	42
Figura 2.7 Coagulación por adsorción.....	44
Figura 2.8 Coagulación por barrido	45

Figura 4.1 Diseño tipo experimental. Relación de variable independiente y dependiente	62
Figura 4.2 Diagrama del proceso de coagulación-floculación con cloruro férrico y Chemlok 2040	63
Figura 4.3 Recolección de los ARFC en el recipiente de 50 L	64
Figura 4.4 Muestras recolectadas en los bidones de 20 L	65
Figura 4.5 Preparación del floculante Chemlok 2040 (0,1%)	66
Figura 4.6 Ajuste de pH con cal apagada.....	67
Figura 4.7 Dosificación del coagulante cloruro férrico al 40%.....	67
Figura 4.8 Dosificación del floculante Chemlok 2040	68
Figura 4.9 Sedimentación después del proceso de coagulación-floculación	68
Figura 4.10 Recuperación de la muestra después del proceso de coagulación-floculación	69
Figura 4.11 Recolección de las muestras después de los tratamientos.....	69
Figura 5.1 Gráfica de probabilidad de los residuos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$	75
Figura 5.2 Gráfica del residuo con respecto al orden de observación.....	76
Figura 5.3 Gráfica del residuo con respecto al valor ajustado	78
Figura 5.4 Gráfica de cubos con datos promedios de la reducción de la DQO en porcentaje para cada tratamiento	80
Figura 5.5 Gráfico de efectos de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO.....	81
Figura 5.6 Gráfico de efectos de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO.....	83
Figura 5.7 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados respecto a la reducción de la DQO en porcentaje con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$	85

RESUMEN

Esta investigación presenta la evaluación del efecto del proceso de coagulación-floculación sobre la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte (ARFC), generadas en un taller de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C, mediante prueba de jarras. Se planteó un diseño experimental factorial aleatorio 2^4 , con un total de 16 tratamientos por duplicado, para determinar la reducción de la DQO en porcentaje del proceso de coagulación-floculación, los factores que tienen mayor influencia y sus efectos sobre la reducción de la DQO. La concentración inicial de la DQO fue de 6210 mg/L y se trabajó con un pH ajustado de 7,6. Los resultados demostraron que con el proceso de coagulación-floculación se obtiene una reducción de la DQO mínima del 89,49% y máxima del 95,04%. Los factores que tuvieron mayor influencia fueron la dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación lenta. El incremento de la dosis de cloruro férrico de 120 mg/L a 240 mg/L tuvo un efecto positivo. El incremento de la dosis de Chemlok 2040 de 2 mg/L a 4 mg/L no tuvo efecto sobre la reducción de la DQO. Por otro lado, El incremento de las velocidades de agitación rápida de 100 a 200 rpm y lenta de 20 a 50 rpm tuvieron un efecto ligeramente negativo en la reducción de la DQO. La mayor reducción de la DQO obtenida (95,04%) tuvo una dosis de 240 mg/L para cloruro férrico, 4 mg/L para Chemlok 2040, y velocidades de agitación de 100 rpm y 20 rpm.

Palabras claves: coagulación-floculación, fluidos de corte, metal-mecánica, aguas residuales de fluidos de corte, cloruro férrico, Chemlok 2040, reducción de la DQO.

ABSTRACT

This research presents the evaluation of the effect of the coagulation-flocculation process on the COD reduction of metalworking fluids wastewater (MFWF), generated in a CUNIPER S.A.C metalworking workshop, by a jar test. A random factorial experimental design 2^4 was proposed, with a total of 16 duplicate treatments, to determine the COD reduction in percentage of the coagulation-flocculation process, the factors that have the greatest influence and their effects on COD reduction. The initial COD concentration was 6210 mg/L and the fixed pH was 7.6. The results showed that with the coagulation-flocculation process a minimum COD reduction of 89,49% and a maximum reduction of 95,04% is obtained. The factors that had the greatest influence were the dose of ferric chloride and the low stirring speed. Increasing the dose of ferric chloride from 120 mg/L to 240 mg/L had a positive effect. Increasing the dose of Chemlok 2040 from 2 mg/L to 4 mg/L had no effect on the COD reduction. On the other hand, increasing the fast-stirring speeds from 100 to 200 rpm and the slow-stirring from 20 to 50 rpm had a slightly negative effect on the COD reduction. The greatest COD reduction obtained (95,04%) had a dose of 240 mg/L for ferric chloride, 4 mg/L for Chemlok 2040, and stirring speeds of 100 rpm and 20 rpm.

Keywords: coagulation-flocculation, metalworking fluids, metalworking fluids wastewater, depleted aqueous cutting fluids, ferric chloride, Chemlok 2040, COD reduction.

INTRODUCCIÓN

Los fluidos de corte (FC) se han utilizado en la industria desde la época del antiguo Egipto, pero su formulación y el estudio de su mecanismo de uso solo se ha investigado durante los dos últimos siglos. Actualmente los FC son usados por la industria metal-mecánica para lubricar, enfriar, limpiar superficies y prevenir la corrosión durante el proceso de mecanizado de piezas metálicas (Cheng et al., 2005). Estos FC se dividen en dos clases genéricas, los FC aceitosos que son los aceites puros compuestos principalmente de aceite mineral, sintético o vegetal y los FC acuosos más conocidos como taladrinas compuestos por agua, aceites (mineral, sintético o vegetal), tensoactivos y aditivos, siendo este último tipo de FC el más utilizado (Villamizar, 2008).

Se estima que el uso anual de los FC acuosos en el mundo supera los 2 millones de m³ y los residuos generados podrían ser diez veces mayor, dado que estos deben ser diluidos antes de su uso (Cheng et al., 2005). “A medida que los FC acuosos se van utilizando, sus propiedades se van reduciendo, decayendo su rendimiento y contaminándose con agentes externos tales como aceites y grasas, partículas metálicas, polvo ambiental, microorganismos que degradan la materia orgánica, etc.” (Condorchem Envitech, 2018). Cuando las características de los FC acuosos ya no cumplen con las especificaciones requeridas para la operación se dice que los FC acuosos están agotados o gastados y pasan a considerarse como un residuo peligroso según el “Manual de difusión técnica N°1: Gestión de los residuos peligrosos en el Perú” de la Dirección General de Salud Pública [DIGESA] (2006); además, según el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [D.S. N° 014-2017-MINAM] (2017), se

encuentran catalogados como emulsiones de aceite y agua (código A4060) en el anexo III, lista A: residuos peligrosos, A4: residuos que pueden contener constituyentes inorgánicos u orgánicos.

Si bien es cierto, estos residuos pueden ser dispuestos en un relleno de seguridad por una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS), también pueden ser manejados como aguas residuales de fluidos de corte (ARFC) mediante un tratamiento químico (proceso de coagulación-floculación) donde se separa el aceite emulsionado, sólidos suspendidos, compuestos orgánicos e inorgánicos de las ARFC (Chipasa, 2013).

El presente trabajo de investigación considera necesario e importante el tratamiento de los FC acuosos agotados como ARFC antes de ser vertidas al sistema de alcantarillado o a un cuerpo receptor. Para ello, primero se debe realizar pruebas experimentales a escala laboratorio evaluando el efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de las ARFC.

El proceso de coagulación-floculación es un tipo de tratamiento químico que consiste en añadir al agua residual sales orgánicas, inorgánicas y/o polielectrolitos en un sistema agitado con el objetivo de neutralizar las cargas negativas de los coloides en suspensión para su desestabilización y aglutinamiento de microflóculos hasta formar flóculos de mayor tamaño que puedan sedimentar por efecto de la gravedad (Lorenzo, 2006). En la actualidad, la coagulación-floculación es una tecnología indispensable para el tratamiento de las ARFC, que recibe mucha atención por ser económica, práctica y relativamente eficiente (Zhao et al., 2021).

Menéndez y Dueñas (2018) definen a la DQO como la medida indirecta de la concentración de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, incluyendo también compuestos inorgánicos que pueden ser degradados (oxidados) por un reactivo químico fuerte. Por otro lado, Chipasa (2013) lo considera como la medida de contaminación del agua por aceites, tensioactivos, biocidas y agentes anticorrosión que se encuentran en las ARFC. En base a ello, en este trabajo de investigación se consideró a la DQO como parámetro más representativo de contaminación de dichas aguas residuales.

El aporte de este trabajo de investigación está en determinar la reducción de la DQO en porcentaje del proceso de coagulación-floculación de las ARFC de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C. Asimismo, determinar los factores que tienen mayor influencia y analizar los efectos de cada factor del proceso de coagulación-floculación (dosis de cloruro férrico, dosis de Chemlok 2040, velocidad de agitación rápida y velocidad de agitación lenta) en la reducción de la DQO de las ARFC, como base experimental para posteriores trabajos sobre tratamiento de las ARFC, considerando otros parámetros fisicoquímicos y/o biológicos para su reusó en el riego de áreas verdes, descarga al sistema de alcantarillado o a cuerpos de agua receptores.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La generación de las ARFC en el proceso de mecanizado de piezas metálicas es uno de los principales aspectos ambientales de la industria metal-mecánica, dado que pueden provocar impactos ambientales negativos en el agua y el suelo si es que su manejo y disposición final no es la adecuada (Asociación de industriales metalúrgicos de la república de Argentina [ADIMRA], 2019). En cuerpos de agua, dificultan el intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera, contribuyendo a la desoxigenación de las aguas, perjudicial para todas las formas de vida (Mayta & Mayta, 2017). Por ejemplo, cuando se descargan directamente en el río o el océano en grandes cantidades, el aceite y la grasa forman una película de aceite en la superficie del agua que puede bloquear la luz solar y el aire, haciendo que el cuerpo de agua parezca un estado anóxico; en consecuencia, el crecimiento de plantas y animales en el agua se ven afectados (Zhao et al., 2021). Además, puede causar una importante mortandad en la fauna piscícola debido a los numerosos componentes tóxicos que contiene, tales como nitritos y fenoles (Sociedad pública de gestión ambiental [IHOBE], 1999). En suelos, los endurecen, alteran los procesos de intercambio de materia y energía (Villamizar, 2008), dificultan la respiración de microorganismos y plantas; por lo tanto, la velocidad de degradación de los microorganismos se vuelve lenta, y luego el crecimiento y el rendimiento de las plantas se ven afectados (Zhao et al., 2021). Por otro lado, si las ARFC son vertidas al sistema de alcantarillado pueden ocasionar problemas operativos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) por aceites, emulgentes

y compuestos clorados (Sociedad pública de gestión ambiental [IHOBE], 1999). Si bien es cierto, el impacto ambiental de las empresas de la industria metal-mecánica de forma individual puede no ser importante, el elevado número de establecimientos que integran el sector hacen que represente una problemática considerable (Fundación Entorno Empresa y Medio Ambiente, 1998).

En el Perú, en los últimos años se ha observado, un gran aumento en la aparición y crecimiento de empresas del sector metal-mecánico, cuyo problema ambiental más grave que afrontan es el inadecuado manejo de sus aguas residuales, muchas de ellas descargan sus aguas residuales al sistema de alcantarillado sin ningún tratamiento previo, provocando la contaminación de las aguas con compuestos tóxicos (Barriga, 2015). Esta problemática se puede reflejar en la metal-mecánica CUNIPER S.A.C. ubicada en el distrito de Carabaylo, departamento de Lima, dado que sus ARFC son descargadas directamente a la red de alcantarillado sin tratamiento, debido al desconocimiento de sus características fisicoquímicas y del impacto ambiental que está causando.

La alta concentración de aceite y la presencia de varios aditivos (inhibidores de corrosión, estabilizadores, agentes antibacterianos, entre otros) en las ARFC contribuyen a valores altos de la DQO, por lo que no pueden ser vertidas directamente al sistema de alcantarillado siendo necesario su tratamiento antes de su descarga (Lawniczak & Marecik, 2019). Es por ello, que se ha visto la necesidad de evaluar el efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de las ARFC como precedente y alternativa para el tratamiento de las ARFC.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Qué efecto tiene el proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.?

1.2.2. Problemas Específicos

-) ¿Cuál es la reducción de la DQO en porcentaje del proceso coagulación-floculación?
-) ¿Qué factores del proceso de coagulación-floculación tienen mayor influencia en la reducción de la DQO?
-) ¿Cuál es el efecto del incremento de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO?
-) ¿Cuál es el efecto del incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.

1.3.2. Objetivos Específicos

-) Determinar la reducción de la DQO en porcentaje del proceso coagulación-floculación.

-) Determinar los factores del proceso de coagulación-floculación que tienen mayor influencia en la reducción de la DQO.
-) Analizar el efecto del incremento de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO.
-) Analizar el efecto del incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO.

1.4. Limitantes de la Investigación

1.4.1. Limitante teórica

En el ámbito internacional se cuenta con pocas investigaciones sobre la evaluación del efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la industria metal-mecánica. Por otro lado, en el ámbito nacional no se ha encontrado estudios relacionados con la unidad de estudio.

1.4.2. Limitante temporal

Este trabajo de investigación no presenta está limitante, dado que las pruebas experimentales y ensayos de laboratorio se darán en un corto tiempo de dos semanas aproximadamente, tiempo suficiente para poder analizar y procesar los datos.

1.4.3. Limitante espacial

Para realizar este trabajo de investigación se tendrá que contratar los servicios de otro laboratorio para los análisis de agua respectivos (caracterización de parámetros fisicoquímicos y concentración de la DQO después de cada tratamiento), puesto que el laboratorio de la FIARN no

cuenta acreditación por parte de INACAL para dicho análisis, solo se realizarán las pruebas de jarras en el laboratorio con un equipo de jarras de 4 ejes.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Zhao et al. (2021) en su artículo *“Aplicación de la coagulación-floculación en el tratamiento de aguas residuales oleosas: una revisión”*, Universidad *Chang’ an, China*. Definen a las aguas residuales aceitosas como aquellas con concentraciones de aceites de hasta 4000-6000 mg/L, mientras que las aguas residuales tienen una concentración entre 50 y 100 mg/L. Señala que la dosis de coagulante y floculante influye significativamente en los efectos de las aguas residuales aceitosas de diferentes industrias y que la tasa de reducción de aceite tiene una estrecha relación con la dosis de coagulante y floculante. Además, dosis de coagulantes y floculantes excesivos, hacen que la suspensión las partículas se vuelvan a estabilizar conduciendo a una reducción en la eficiencia del tratamiento. Los floculantes de polímero aniónico desempeñan un mecanismo de puente con la ayuda de sales de hierro, sales de aluminio o en un sistema de polímeros duales. Por otro lado, los floculantes de polímeros catiónicos se conectan con las partículas de carga negativa a través de un mecanismo de puente. Otro factor señalado que influye significativamente es el PH, debido a que cada coagulante suele presentar una dependencia de pH diferente, el cual debe mantenerse en el rango de la alcalinidad y cerca del pH 7, donde se encuentran eficiencias de reducción para la DQO y la turbidez del 94,4% y el 94,1%, respectivamente utilizando silicato de

policloruro de aluminio como agente coagulante. Por otro lado, en este trabajo se afirma que el valor inicial de aceites y grasas tiene una influencia significativa en el tratamiento de aguas residuales aceitosas mostrando mejores resultados con concentraciones bajas menores a 5000 mg/L.

Demirbas y Kobya (2017), en su investigación *“Costos operativos y tratamiento de aguas residuales de fluidos de metal-mecánica mediante procesos de coagulación química y electrocoagulación”*, Universidad Técnica de Gebze, Turquía. Abordan el tema sobre el desempeño del tratamiento y el costo operativo de aguas residuales de fluidos de corte de metal-mecánica (ARFC) utilizando coagulación química (CQ) y procesos de electrocoagulación (EC). Se determinaron las eficiencias de reducción de DQO y COT por CQ de las ARFC en condiciones óptimas (500 mg/L de dosis de coagulante, pH de 6,5 para coagulantes a base de aluminio, pH de 7,5 para coagulantes a base de hierro): 65-97% y 49-81 % para alumbre, 48-96% y 38-80% para cloruro de aluminio, 43-91% y 36-76% para sulfato férrico, 55-93% y 41-77% para cloruro férrico, respectivamente. Los resultados de CC mostraron una alta reducción de DQO y COT por los coagulantes a base de aluminio que los coagulantes a base de hierro. Por otro lado, las eficiencias máximas de reducción de DQO y COT por el proceso de CE se observaron a un pH de 5 para el electrodo de Al (94% y 83%) y un pH de 7 para el electrodo de Fe (90% y 80%). La densidad de corriente óptima para ambos electrodos fue de 80 A/m² ya que las mayores reducciones de DQO y COT se observaron en este valor.

Lazarevi et al. (2013), en su artículo *“Escalamiento del tratamiento químico de las emulsiones de fluidos de corte agotado en agua de una planta de procesamiento de metales no ferrosos”*, Universidad de Niš, Serbia. Determinan la eficiencia de remoción de contaminantes tanto de las emulsiones de fluidos de corte agotado en agua (EFCA) sintético como real mediante el proceso de coagulación-floculación a nivel de laboratorio y piloto. Se utiliza EFCA tanto sintéticos como reales; los primeros se preparan en el laboratorio, emulsionando aceites minerales en agua destilada, y los segundos se toman de la planta de procesamiento de metales no ferrosos. En el proceso de coagulación-floculación se usa sulfato de aluminio como coagulante para romper la emulsión, cal hidratada como base y agente precipitante, y como coadyuvante la tierra de diatomeas Celite. Los resultados obtenidos mostraron que la eficacia del tratamiento químico no depende del tipo de aceite mineral del EFCA, del tipo y cantidad de coadyuvante (tierra de diatomeas Celite). Las dosis aceptables de sulfato de aluminio y cal hidratada son 1 g/L y 1 a 3 g/L, respectivamente. La eficiencia de remoción obtenida es superior al 98% con respecto a SST, DQO y aceites y grasas.

Vahid et al. (2013), en su trabajo de investigación *“Evaluación del rendimiento del proceso de oxidación Fenton en comparación con el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de fluidos de corte agotados de metal-mecánica”* Universidad de Tecnología de Energía y Agua, Irán. Evalúan la efectividad del proceso de oxidación Fenton en comparación con el proceso de coagulación-floculación mediante la

eficiencia de remoción de la DQO y la tasa de producción de lodos. El trabajo de investigación fue a escala de laboratorio y los principales parámetros medidos fueron la eficiencia de remoción de la DQO y la tasa de producción de lodos. Los resultados del estudio mostraron que el proceso de oxidación de Fenton indicó una eficiencia de remoción máxima de la DQO del 88,31% y una tasa mínima de producción de lodos de 230 mL/L con dosis de H_2O_2 50 g/L y FeSO_4 10 g/L. Por otro lado, el proceso de coagulación química mostró que la eficiencia de remoción máxima de la DQO fue de 88,36%, con una dosis de coagulante de FeCl_3 de 40 g/L con una tasa de producción de lodos superior a 616 mL/L. El estudio concluye que el proceso Fenton podría considerarse como un proceso nuevo y competitivo en el tratamiento de aguas residuales de fluidos de corte de metal-mecánica, pues tiene dos características principales: buena eficiencia en la remoción de la DQO y baja producción de lodos.

2.1.2. Nacional

En el ámbito nacional no se ha encontrado investigaciones referentes a la unidad de estudio (aguas residuales de fluidos de corte), es por eso que esta investigación ha tomado como referencia solo investigaciones internacionales.

2.2. Bases teóricas

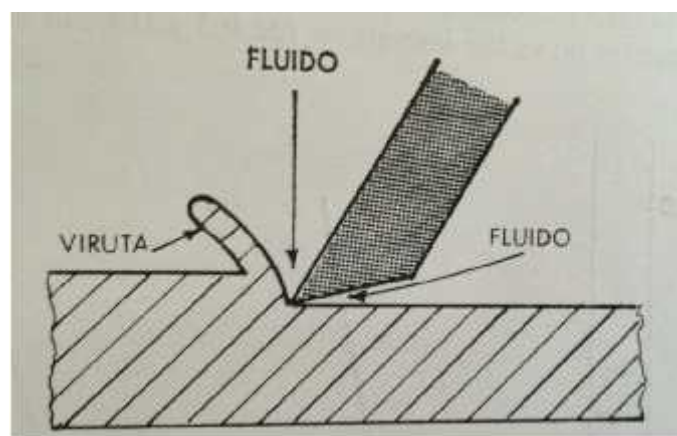
2.2.1. Fluidos de corte

“Los fluidos de corte son productos líquidos de composición compleja, que se adicionan en el sistema pieza-herramienta-viruta de una operación de

mecanizado, a fin de lubricar y eliminar el calor producido” (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT], NTP 317 de 1995, p.1) (ver figura 2.1). Además, “están contenidos frecuentemente en largos sistemas de recirculación y son bombeados continuamente a muchas operaciones de maquinado” (L. Hernández & Quesada, 2002, p.3)

Figura 2.1

Incidencia del fluido de corte durante la operación de mecanizado



Fuente: Cabello (2015).

2.2.1.1. Funciones de los fluidos de corte

Las principales funciones de los fluidos de corte son: (Padilla, 2011)

-) Lubricación, disminuye la energía de fricción entre la herramienta y la pieza, se desgasta menos el filo y la herramienta trabaja sin vibraciones (alarga la vida útil de las herramientas), además se protege la pieza y la máquina contra la oxidación.
-) Refrigeración, disminuye la temperatura del sistema pieza-herramienta-viruta producido por el corte de las piezas metálicas

con el fin de evitar deformaciones en las piezas y asegurar la duración de la herramienta.

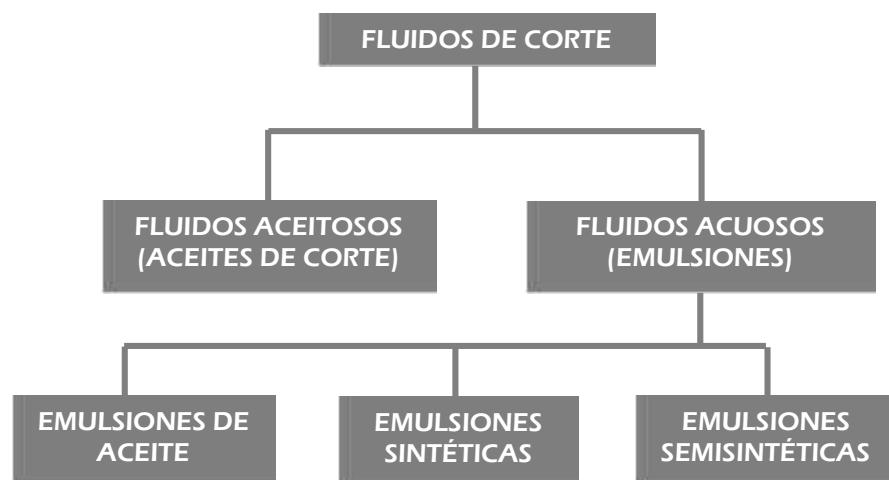
-) Expulsión de viruta; limpia la superficie de contacto entre la herramienta y la pieza con el fin de no afectar el acabado superficial de la pieza.

2.2.1.2. Clasificación de los fluidos de corte

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT] (1991) en la NTP 317: Fluidos de Corte: Criterios de Control de Riesgos Higiénicos, clasifica a los fluidos de corte de la siguiente manera:

Figura 2.2

Clasificación de los Fluidos de Corte



Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT], NTP 317 (1991)

A. Fluidos de corte aceitosos (aceite de corte)

Son aceites puros usados en las operaciones de mecanizado. Están compuestos por una base de aceite mineral, sintético o vegetal, más una serie de aditivos para mejorar los aspectos específicos del

rendimiento en la operación del mecanizado. Además, “aportan las máximas prestaciones en cuanto a lubricación y las mínimas en cuanto a refrigeración” (Villamizar, 2008, p.49).

Además, “se utilizan fundamentalmente en operaciones de mecanizado severas en las que se generan grandes cantidades de viruta. La vida media de los aceites de corte suele ser de dos a tres años” (Esteban et al., 2015, p.25)

B. Fluidos de corte acuosos (Emulsiones)

Son emulsiones también llamadas taladrinas, se preparan mezclando el producto concentrado con agua. “El producto concentrado que suministra el fabricante consiste en un aceite base, emulsificantes y una serie de aditivos (antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, biocidas, inhibidores de corrosión, entre otros)” (Villamizar, 2008, p.49).

En la siguiente tabla se indica la composición de los fluidos de corte acuosos de acuerdo a diferentes fichas técnicas de marcas de producción.

Tabla 2.1
Composición de fluidos de corte acuosos - diferentes fichas técnicas

Tipos de compuestos	Compuestos más empleados
----------------------------	---------------------------------

Refrigerante	Agua
Lubricantes	Aceite mineral (nafténico, parafínico, aromático), sintético, vegetal.
Emulgentes	Aniónicos (sulfonatos) no aniónicos (nonifenoles, óxidos de etileno).
Inhibidores de corrosión	Aminas (monoditrietanolamina), boratos, nitritos, otros (ácido Butilbenzoicos).
Humectantes/estabilizantes	Alcoholes (poliglicoles), fosfatos (fosfatos de amina).
Biocidas	Formoles (triacinas y percusores), fenoles.
Antiespumantes	Siliconas (alquil-aril polisiloxanos)
Aditivos extrema presión	Azufrados, clorados (parafinas cloradas), otros (grasa, aditivos fosforados).
Colorantes	Diversos.
Metales pesados	Molibdeno, zinc, cadmio, níquel, cromo, entre otros.
Complejantes	Orgánicos.

Fuente: Villamizar (2008).

Los fluidos de corte acuosos pueden clasificarse en tres tipos:

) **Emulsiones de aceite.** – “Este tipo de fluido de corte presenta un aspecto lechoso, es el más empleado y es especialmente adecuado para operaciones de mecanizado medio y ligero. Al igual que el resto de fluidos de corte acuosos, su vida media suele ser de dos a tres meses” (Esteban et al., 2019, p. 25).

El concentrado de esta emulsión usualmente se aplica al 5%, contiene como base entre 60 a 80% de aceite mineral o vegetal, 10% de agua, 20% de emulgentes y 10% de aditivos (Sociedad

pública de gestión ambiental [IHOBE], 1999). “Se emplean en operaciones en las que la función lubricante es prioritaria” (IHOBE, 1999, p. 7).

-) **Emulsiones semisintéticas.** – “Son traslúcidas, volviéndose con el tiempo opacas. Su vida media suele ser de dos a tres meses” (Esteban et al., 2015, p. 25). El concentrado se aplica entre 2 y 6%. Contiene como base entre 20% a 50% de agua, 10% a 40% de aceite mineral o sintético, 10% a 30% de emulgentes y 10% a 30% de aditivos varios, básicamente anticorrosivos (Sociedad pública de gestión ambiental [IHOBE], 1999). “Su uso se extiende a operaciones en las que la lubricación y refrigeración son importantes” (IHOBE, 1999, p.7).
-) **Emulsiones sintéticas.** – “Forman disoluciones traslúcidas. Sus funciones principales son la refrigeración y el control de corrosión. Su vida media suele ser de dos a tres meses” (Esteban et al., 2015, p. 25). El concentrado se aplica de entre el 2 a 5%; contiene como base de 40 a 60% de agua, de 40% a 60% de aditivos y cantidades menores al 5% de aceite (Sociedad pública de gestión ambiental [IHOBE], 1999).

Tabla 2.2

Composición aproximada de los diferentes tipos de fluidos de corte

Tipo de fluido mecanizado	Composición en concentrados (%vol)				Disolución en agua (%vol)		
	Agua	Aceite	Emulgentes	Aditivos	Rango	Usual	
Aceite de corte	0	96	0	4	-	-	
Taladrina	Emulsión de aceite	<10	60-80	20	10	3-10	5
	Emulsión semisintética	20-50	10-40	10-30	10-30	2-6	2-6
	Emulsión sintética	40-60	<5	>0	40-60	2-5	2-5
	Agua	100	-	-	-	-	-

Fuente: IHOBE. Sociedad Pública Gestión Ambiental (1999).

2.2.2. Emulsiones de aceite en agua

La emulsión es un sistema heterogéneo formado por dos líquidos inmiscibles, en el cual uno de ellos (fase interna, discontinua o dispersa) está esparcido en forma de finas gotas o glóbulos en el otro (fase externa, continua o fase dispersante) (Aranberri et al., 2006). En la emulsión de aceite en agua, las gotitas de aceite se dispersan en una fase de agua mayor al 30% en volumen. El aceite en las aguas residuales puede ser de origen mineral, animal o vegetal. El contenido de aceite generalmente se clasifica en cuatro categorías según su forma física: (Coca et al., 2011)

-) Aceite libre (flotante): sube rápidamente a la superficie del agua en condiciones de reposo, el diámetro de las gotas en la mezcla de aceite en agua es 150 μm .
-) Aceite disperso: es un conjunto de finas gotitas estabilizadas por sus cargas eléctricas sin presencia de tensioactivos, el diámetro de las gotas en la mezcla de aceite en agua es de 20 a 150 μm .

- J) Aceite emulsionado: tiene una distribución similar a la del aceite disperso, pero su estabilidad mejora debido a las interacciones con los emulsionantes (principalmente tensoactivos), el diámetro de las gotas en la mezcla de aceite en agua es 20 μm .
- J) Aceite disuelto: el aceite no está presente como gotitas visibles, sino verdaderamente disuelto químicamente o disperso en gotitas extremadamente finas, el diámetro de las gotas en la mezcla de aceite en agua es 5 μm .

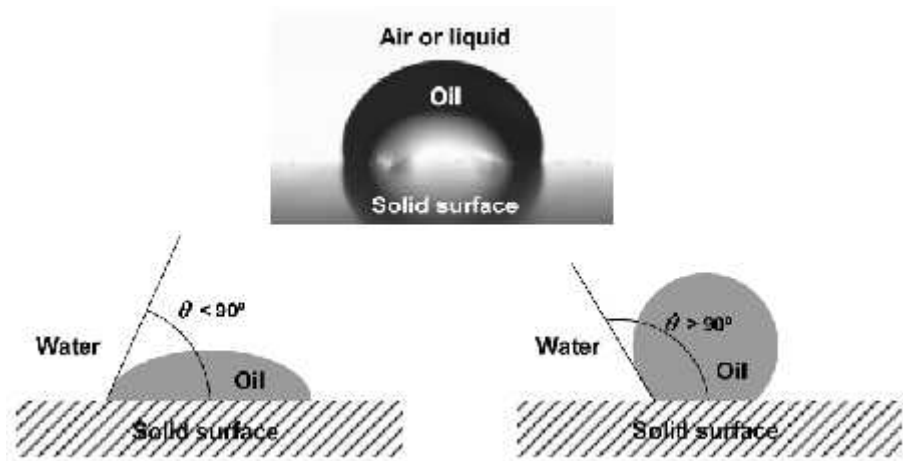
2.2.2.1. Propiedades de las emulsiones aceite en agua

Las propiedades que juegan un papel clave en la estabilidad de una emulsión aceite en agua son las siguientes:

- J) Tensión interfacial. – Definida como la fuerza que actúa en ángulo recto en cualquier línea de longitud unitaria sobre la superficie de emulsión o, también, como el trabajo requerido para aumentar el área de una superficie de manera isotérmica y reversible. En una emulsión aceite en agua, la presencia de un tensoactivo reducirá significativamente la tensión interfacial y conducirá a emulsiones estables (Coca et al., 2011).
- J) Ángulo de contacto (humectación). - Es una medida cuantitativa de la humectación de un sólido por un líquido. Como se muestra en la figura 2.3, geométricamente se define como el ángulo formado por el límite de contacto superficial (interfase) del sólido-emulsión y emulsión-aire o líquido. Los valores bajos del ángulo de contacto indican que el líquido se humedece bien, mientras

que los valores altos corresponden a una mala humectación. Las mejores emulsiones, serán aquellos que presenten una buena humectabilidad para una superficie metálica. Una disminución en la humectabilidad indica desestabilización de la emulsión debido a la contaminación o degradación del aceite (Coca et al., 2011).

Figura 2.3
Humectación y ángulo de contacto



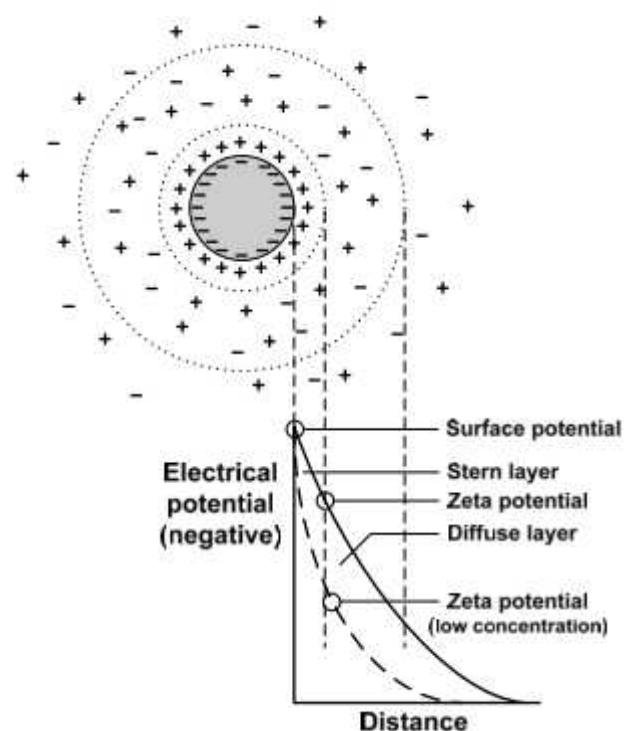
Fuente: Coca et al. (2011)

-) Potencial zeta.- “Cada coloide contiene una capa eléctrica que suele ser de naturaleza negativa” (Pérez, 2009, p. 35). La atracción entre el coloide negativo y algunos iones positivos forman una capa alrededor de la superficie del coloide conocida como “capa de Stern” (ver figura 2.4). Los iones positivos restantes son atraídos por el coloide negativo, pero rechazados por la capa Stern. Este equilibrio iónico conlleva a la formación de un segunda capa llamada “capa difusa” (Pérez, 2009). El

potencial zeta es la diferencia de potencial que existe entre la capa Stern y la capa Difusa (Lorenzo, 2006). Los valores altos de potencial zeta aumentan la estabilidad de la emulsión, debido a que los coloides permanecen dispersas en suspensión por fuerzas de repulsión electrostática dificultando su coalescencia (Coca et al., 2011). Para valores bajos de potencial zeta se obtiene el efecto opuesto, disminuye la estabilidad de la emulsión, los coloides se aglomeran y sedimentan (Pérez, 2009).

Figura 2.4

Doble capa eléctrica alrededor de una gota de aceite cargado negativamente y la distribución del potencial eléctrico a su alrededor



Fuente: Coca et al. (2011)

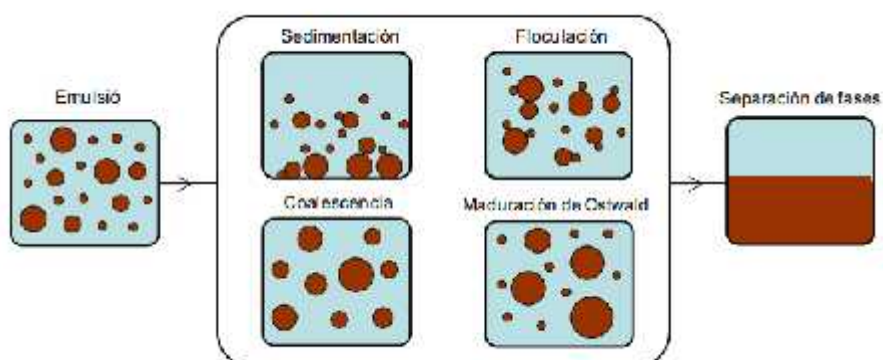
) Distribución del tamaño de las gotas. - La distribución del tamaño de las gotas en función del tiempo es un indicador de la estabilidad de la emulsión y es un factor importante en el desempeño de los procesos de remoción de aceite tales como sedimentación/flotación, filtración por membranas y coalescencia/adsorción. Como tendencia general, cuanto menor es el tamaño de las gotas, más estable es la emulsión aceite en agua (Coca et al., 2011).

2.2.2.2. Ruptura de emulsión o demulsificación de aceite

Es la separación de un aceite emulsionado de la fase acuosa en la que está suspendido. El objetivo de la demulsificación es eliminar la interfaz estabilizada con tensioactivo permitiendo que las gotas de aceite se fusionen y suban a la superficie (Coca et al., 2011). Según Aranberri et al. (2006), el proceso de ruptura de las emulsiones puede ocurrir mediante cuatro mecanismos de inestabilidad diferentes, tal como se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5

Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones



Fuente: Martínez (2014)

-) **Sedimentación o cremado.** - Se trata de un proceso causado por una diferencia de densidades que existen entre las fases de la emulsión (fase dispersa y fase dispersante). Si la densidad de la fase dispersa es menor a la fase dispersante, las finas gotas dispersas tienden a acumularse en la parte superior, formando una crema; sin embargo, cuando la densidad de la fase dispersa es mayor a la fase dispersante, las finas gotas dispersas pueden formar un sedimento. Por ejemplo, para las emulsiones aceite en agua, la densidad de las gotas de aceite es inferior a la densidad del agua; por lo tanto, ocurre el “creaming” (Martínez, 2014).
-) **Floculación.** - “Se manifiesta cuando un número de gotas de fase dispersa se unen para formar agregados. Puede ser un proceso reversible o no, pero en ningún caso las gotas pierden su identidad, aunque se comporten como una sola gota. Esto es debido a que, a pesar de estar en contacto, las gotas están separadas por una fina capa de fase continua que evita la rotura de sus paredes y por lo tanto la formación de una gota mayor, como en el caso de la coalescencia” (Martínez, 2014, p. 41).
-) **Coalescencia.** – “Esta consiste en la unión irreversible de dos gotas de fase dispersa, pero a diferencia de la floculación, en la coalescencia hay una rotura de las paredes de las gotas que se encuentran unidas para formar una gota mayor” (Martínez, 2014, p. 41).

) **Engrosamiento de gotas.** – “Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen” (Aranberri et al., 2006, p. 214).

“En general, el complejo proceso de la inestabilidad de las emulsiones suele ocurrir mediante la combinación de los cuatro posibles procesos de inestabilidad que pueden suceder simultáneamente a diferentes velocidades” (Aranberri et al., 2006, p. 214).

2.2.3. Técnicas de tratamiento de las aguas residuales de fluidos de corte (ARFC)

Las técnicas de tratamiento para las aguas residuales de fluidos de corte, se pueden dividir en tratamiento primario, secundario y terciario (Chipasa, 2013).

2.2.3.1. Tratamiento primario

El objetivo de este tratamiento es separar el aceite flotante y los sólidos en suspensión del agua residual de fluido de corte, dando como resultado un agua tratada con menos peligrosidad y más sencilla de tratar. Por otro lado, el aceite residual y los sólidos separados constituirán un residuo líquido más peligroso, pero su volumen será muy reducido (Chipasa, 2013, p. 4).

En la tabla 2.3, se muestra algunos métodos para la separación de aceite y otros contaminantes de las aguas residuales de fluidos de corte.

Tabla 2.3

Métodos para la remoción de aceites y otros contaminantes de las aguas residuales de fluidos de corte

Tipo de equipos	Contaminantes removidos
Desnatador de aceites (Skimmers)	Aceites flotantes
Paños absorbentes	Aceites dispersos
Tanques de sedimentación	Partículas metálicas y de alta densidad
Separadores magnéticos	Partículas de metales ferrosos de 50 a 100 μm
Hidrociclones y equipos de microfiltración	Todas las partículas de 50 a 100 μm
Agentes químicos coalescentes	Aceites dispersos o semiemulsionados y todas las partículas de 50 a 100 μm .
Sistemas de flotación por aire inducido (IAF)	Aceites flotantes y partículas menos densas de 50 a 100 μm .
Centrifugas	Aceites y partículas

Fuente: Chipasa (2013)

2.2.3.2. Tratamiento secundario

Los métodos de tratamiento secundario implican la separación del aceite emulsionado de las aguas residuales de fluido de corte. Dicha separación tiene el efecto de reducir significativamente algunos componentes del agua como el DQO y DBO. Además, el volumen del aceite separado (residuo peligroso) para ser eliminado será mucho menor. A continuación, se detallan las técnicas actualmente disponibles para el tratamiento de aguas residuales de fluidos de corte, también se incluye el tratamiento biológico; aunque no es una técnica para dividir la emulsión, se puede utilizar para reducir la DQO y DBO (Chipasa, 2013, p. 5).

-) **Tratamiento químico.** - Se utiliza un agente químico para dividir la emulsión en fases de aceite y agua (Chipasa, 2013. p. 5).
-) **Evaporación.** – Consiste en calentar las aguas residuales de fluidos de corte en recipientes de evaporación especiales para expulsar el agua, dejando un volumen reducido para su eliminación como residuo peligroso. Sin embargo, es fundamental considerar detenidamente el coste energético (Chipasa, 2013, p. 5).
-) **Ultrafiltración.** – Consiste en pasar el agua residual de fluido de corte a través de una membrana a presión. Los minúsculos poros de la membrana permiten el paso del agua, pero retienen el aceite y los tensoactivos. Las membranas tienen una vida útil típicamente entre 1,5 y 3 años, el rendimiento de estas puede verse afectado por los componentes del agua residual de fluido de corte. Algunos productos químicos, agentes de limpieza y metales disueltos pueden atravesar las membranas (Chipasa, 2013, p. 5).
-) **Tratamiento biológico.** – Consiste en utilizar microorganismos dentro de un biorreactor para reducir la materia orgánica e inorgánica de las aguas residuales de fluidos de corte. El agua tratada puede ser aceptable para su descarga como efluente comercial. El exceso de lodo debe eliminarse periódicamente. Las opciones para el tratamiento del exceso de lodos incluyen estabilización, espesamiento, deshidratación, secado e

incineración. La incineración es más costosa porque se necesita combustible y el control de la contaminación del aire requiere un tratamiento extenso de los gases de combustión. Además, se emplea esta alternativa cuando el lodo está muy contaminado con metales pesados u otros contaminantes indeseables. Cabe resaltar que el tratamiento biológico solo se puede realizar como un proceso continuo y es lento en comparación con el tratamiento químico o la filtración (Chipasa, 2013, p. 6).

2.2.3.3. Tratamiento terciario

Este tratamiento implica técnicas para depurar aún más el agua residual tratada del proceso de tratamiento secundario para reducir la DQO a un nivel muy bajo, de modo que pueda ser reutilizada en alguna actividad (siempre y cuando cumpla con las normativas establecidas para esa actividad) (Chipasa, 2013). Algunos de los tratamientos son:

-) **Ósmosis inversa.** - La ósmosis inversa se produce cuando las aguas residuales de fluidos de corte pre-tratado pasan a través de una membrana separando el agua de la materia disuelta (incluidos los iones metálicos). El agua tratada tiene un alto potencial de reutilización (Chipasa, 2013, p. 8).
-) **Nanofiltración.** - El funcionamiento de la nanofiltración es similar al del ósmosis inversa. La principal diferencia es que las membranas utilizadas para la nanofiltración no son tan cerradas

como la membrana de ósmosis inversa. Además, la nanofiltración opera a una presión más baja y no elimina los iones monovalentes (es decir, aquellos con una sola carga) del agua con tanta eficacia como la membrana de ósmosis inversa (Chipasa, 2013, p. 8).

) **Carbón activado.** - Se utiliza para adsorber los componentes disueltos de las aguas residuales de fluidos de corte después del tratamiento secundario. La corriente final tiene un alto potencial de reutilización. El subproducto de la fase aceitosa se elimina junto con el adsorbente (carbón activado) residual. (Chipasa, 2013, p. 8).

) **Resinas de intercambio iónico.** - Las sales metálicas disueltas, los ácidos y las bases que se encuentran en las aguas residuales de fluidos de corte se eliminan por contacto con sustancias químicas funcionales adheridas a perlas de resina. La tecnología de intercambio iónico se utiliza para purificar la corriente final de los tratamientos secundarios. El material orgánico, el aceite o la grasa pueden ensuciar la resina y, por lo tanto, la técnica solo es adecuada para las fases acuosas donde la DQO es inferior a 150 mg/L (Chipasa, 2013, p. 8).

De manera general, para los tratamientos terciarios, la ósmosis inversa y la adsorción de carbono actúan sobre el contenido orgánico de las aguas residuales, reduciendo aún más la DQO. Si se configuran y mantienen correctamente, estos métodos pueden producir agua con

poca o ninguna DQO. Por otro lado, las resinas de intercambio iónico y la nanofiltración se utilizan para eliminar los iones metálicos (principalmente dos iones valentes e iones monovalentes más grandes, como los metales pesados) de la corriente de aguas residuales y, a menudo, se utilizan junto con uno de los tratamientos terciarios reductores de DQO (Chipasa, 2013, p. 8).

2.2.4. Proceso de coagulación-floculación

El proceso de coagulación–floculación es un tratamiento químico que “consiste en añadir al agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos” (Cabrera et al., 2009, p. 65).

El proceso comienza con la coagulación por la adición de un agente coagulante (generalmente se suele utilizar sales de aluminio y hierro), cuyos cationes trivalentes de aluminio o hierro neutraliza las cargas negativas superficiales de la capa difusa de las partículas coloidales. Una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permite la formación de los microflóculos, apenas visibles a simple vista (Lorenzo, 2006). Seguidamente, la floculación comienza cuando se unen los microflóculos para formar flóculos de mayor tamaño de forma que puedan sedimentar (Cabrera et al., 2009).

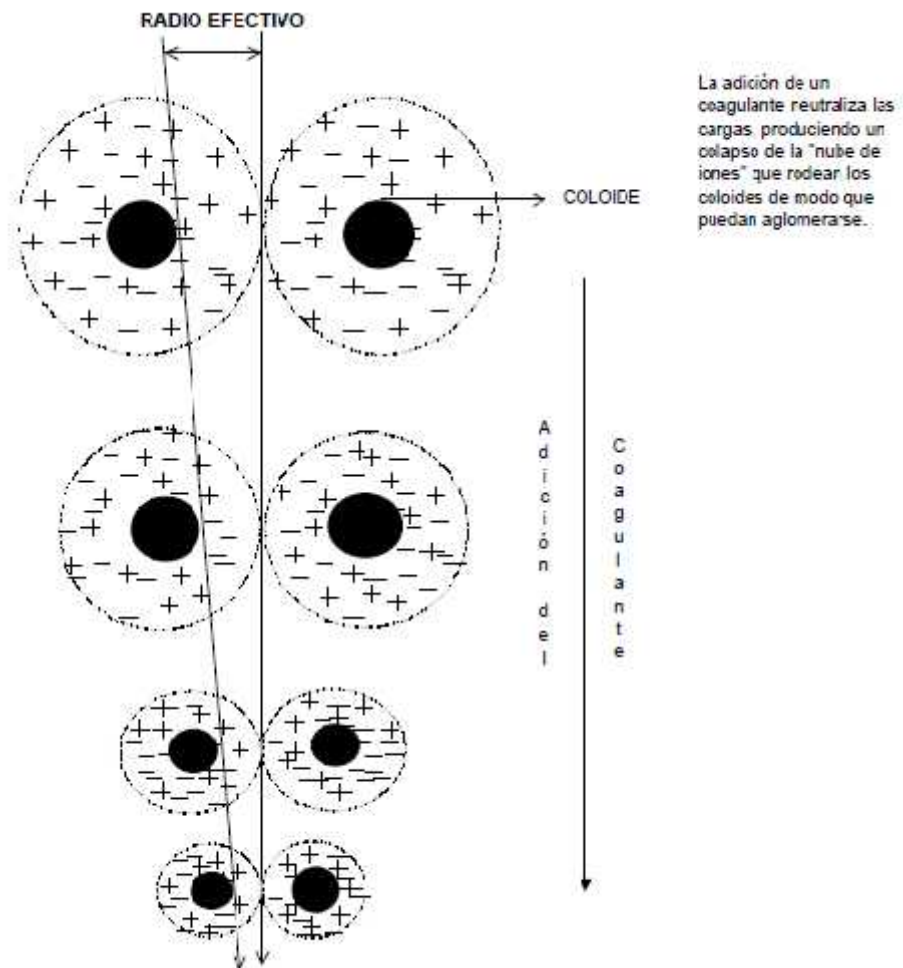
2.2.4.1. Coagulación

Es un proceso que tiene una serie de reacciones químicas cuyo fin es alterar y desestabilizar la superficie de las partículas coloidales, al adicionar un coagulante que se adhiere a las partículas neutralizando sus cargas y reduciendo las fuerzas de repulsión electroestáticas, lo que da origen a las fuerzas de Van Der Waals que permiten la adhesión de las partículas entre si y posteriormente su aglomeración (Diaz et al., 2018, p. 38).

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso y polielectrolitos. Siendo los más utilizados las sales de aluminio y de hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados (Andia, 2000, p. 14).

La coagulación es el tratamiento más eficaz, pero puede representar un gasto elevado cuando no está bien realizado. Por ejemplo, si la cantidad de coagulante está mal ajustada, es imposible de realizar una buena clarificación, (Andia, 2000).

Figura 2.6
Coagulación



Fuente: Andia (2000).

A. Factores que influyen en la coagulación

Según Tafur y Quevedo (2014), es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

-) **pH.** - Es la variable más importante a considerar en el proceso de coagulación; depende de la concentración, el tipo de coagulante a ser usado y la composición química del agua. Si el proceso se lleva a cabo fuera del rango de pH va a requerir

mayor concentración de coagulante, y afectara la solubilidad del mismo en el agua y el tiempo de formación del floculo (debe haber valores mínimos de pH).

) **Dosis del coagulante.** - Este parámetro influye directamente en la eficiencia del proceso, de tal manera que, si se adiciona poca cantidad de coagulante, no se va lograr una neutralización total de la carga de la partícula coloidal, dando como resultado una mínima formación de flóculos. Por el contrario, si se adiciona gran cantidad de coagulante, se va a invertir la carga de la partícula coloidal, dando como resultado formación de gran cantidad de flóculos de muy pequeño tamaño, que van a tardar mucho tiempo en sedimentar. En ambos casos se obtiene alta turbiedad. Por lo tanto, se debe ajustar la concentración optima del coagulante mediante prueba de jarras.

) **Turbidez.** - La coagulación de las partículas se ve influenciada por la turbiedad, que a su vez se relaciona con la cantidad de coagulante adicionado, es decir cada turbiedad tiene una concentración óptima del coagulante. La concentración del coagulante en el agua aumenta con la turbiedad, sin embargo, no es un aumento proporcional, ya que si la turbiedad es muy elevada no requiere dosis altas de coagulante, debido a que existe alta probabilidad de colisión entre las partículas coloidales, en cambio, si la turbiedad es muy baja, requiere

mayores dosis de coagulante debido a que existe menor probabilidad de choque entre las partículas.

-) **Agitación y mezcla.** - La agitación del agua durante la adición del coagulante condiciona la eficiencia del proceso, de tal manera que si hay mayor agitación en un lado que en otro va a haber mayor concentración del coagulante y el proceso no será uniforme; por lo tanto, se debe asegurar que la mezcla sea igual en toda la solución y así se produzca una adecuada reacción química y neutralización de las cargas.
-) **Tamaño de las partículas.** - El tamaño y la concentración de las partículas condicionan el proceso de coagulación, de tal manera que es necesaria la adición de mayor cantidad de coagulante si el tamaño de partícula es menor. Si las partículas tienen gran tamaño (superior a cinco micras) se dificulta la formación del floc.

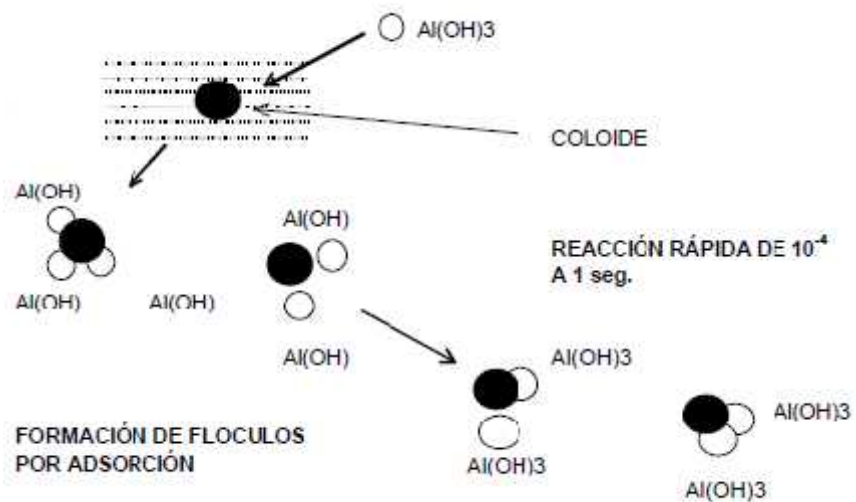
B. Tipos de coagulación

Según Andia (2000) existen dos tipos básicos de coagulación:

-) **Coagulación por adsorción.** - Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas en estado coloidal. Cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son adsorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.

Figura 2.7

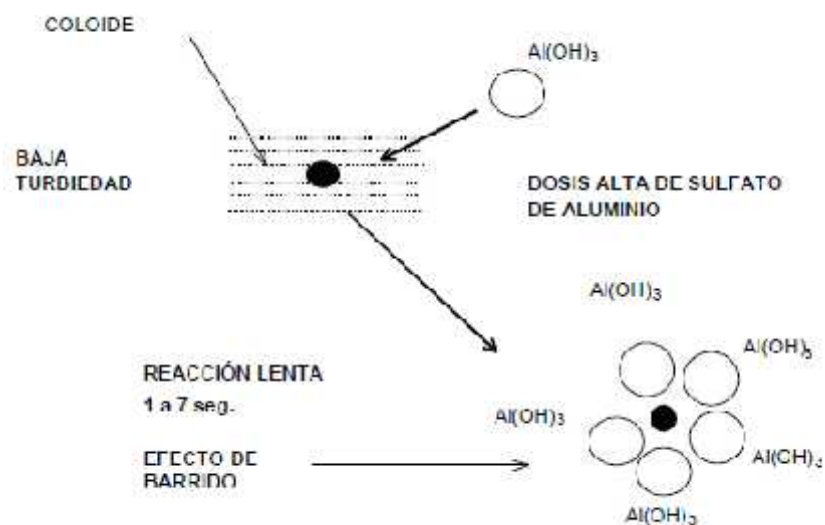
Coagulación por adsorción



Fuente: Andia (2000)

) **Coagulación por barrido.** - Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

Figura 2.8
Coagulación por barrido



Fuente: Andia (2000).

C. Tipos de coagulantes

-) **Coagulantes a base de sales metálicas.** - Frecuentemente empleados en el tratamiento de aguas industriales y domésticas. Entre los coagulantes de este tipo se encuentran el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, con los cuales hay que tener especial cuidado ya que pueden reaccionar con otras sustancias químicas y generar toxinas y compuestos peligrosos para la salud humana. Las sales de aluminio, como el sulfato de aluminio son empleado por su bajo costo y su fácil manejo, además de su eficiencia en el proceso. Sin embargo, las sales de hierro, principalmente el cloruro férrico forma un floc más pesado y por ende mayor velocidad de sedimentación que otros coagulantes (Tafur y Quevedo, 2014).
-) **Coagulantes a base de polímeros sintéticos.** - Los coagulantes de este tipo tienen elevado peso molecular, y aumentan la viscosidad de la solución; son utilizados para la neutralización de las partículas coloidales y pueden ser empleados como productos complementarios en la coagulación con sales metálicas (Tafur & Quevedo, 2014).
-) **Coagulantes de origen natural.** - Son coagulantes alternativos que pueden tener rendimientos iguales o incluso superiores a los de origen sintético, además tienen un valor agregado relacionado con las características de biodegradabilidad que lo

convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental (Tafur & Quevedo, 2014).

2.2.4.2. Floculación

La floculación es el proceso siguiente a la coagulación; consiste en la agitación suave y continua de las partículas coloidales desestabilizadas anteriormente, lo cual permite la aglomeración y el crecimiento de los flóculos recién formados, aumentando su tamaño y peso, de tal manera que sean removidos fácilmente por medio de la sedimentación (Tafur & Quevedo, 2014)

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar. La floculación puede ser mejorado por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación (Aguilar et al., 2002).

En la coagulación, dosis fuertes de coagulantes producen un exceso de fangos que generalmente crean problemas. Por otro lado, no se consigue siempre un precipitado que posea las características deseadas para una buena separación. Por estas razones, se ha recomendado el uso de floculantes y/o ayudantes de la floculación. En los procesos de clarificación se usan los siguientes floculantes: sílice activada, arcillas, polímeros orgánicos naturales, polímeros orgánicos sintéticos, polímeros no iónicos, polímeros aniónicos y polímeros catiónicos (Lorenzo, 2006).

A. Factores que influyen en la floculación

Según Ramos y Priscilla (2015) los factores que influyen en la floculación son los siguientes:

-) **Concentración y naturaleza de las partículas.** - La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.
-) **Tiempo de retención.** - La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de retención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras.
-) **Gradiente de velocidad.** - Este factor es proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados.

B. Tipos de floculación

Según Restrepo (2009) existen 2 tipos de floculación:

-) **El movimiento browniano de las partículas del agua.** - La floculación producida por este movimiento se denomina pericinética. Es demasiado lenta y por tanto no tiene interés práctico en el tratamiento de aguas, aunque puede ser importante para explicar la denominación auto floculación.

-) **El movimiento inducido del agua mediante suministro externo de energía.** - Esta floculación se denomina ortocinética y se debe a gradientes de velocidad originados por disipación de energía mecánica o hidráulica. En esta forma se consigue que las partículas se muevan con diferentes velocidades, lo cual aumenta su probabilidad de contacto.

C. Tipos de floculantes

-) **Floculantes minerales.** - Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución (Andia, 2000).
-) **Floculantes orgánicos naturales.** - Son polímeros naturales provenientes de sustancias animales o vegetales. En este grupo se encuentran los alginatos (Andia, 2000).
-) **Floculantes orgánicos de síntesis.** - Este tipo de floculantes son los frecuentemente empleados; corresponden a macromoléculas de cadena larga y se clasifican en catiónicos, aniónicos y neutros (Andia, 2000).

2.3. Conceptual

2.3.1. Fluidos de corte acuosos agotados

Son emulsiones de aceite cuya composición inicial ha sufrido alteraciones, principalmente una disminución de la concentración de los aditivos, por lo

que pierde sus propiedades iniciales (Hernán, 2019). Según Esteban et al. (2019), los fluidos de corte acuosos se consideran agotados cuando:

-) El resultado del mecanizado no es óptimo (calidad superficial de piezas, precisión, corrosión de herramientas, etc.).
-) La composición inicial ha sufrido alteraciones importantes (disminución de concentración de aditivos) que dificultan una redosificación.
-) Se inicia el proceso de descomposición microbiológica, acompañada de olores.

El agotamiento de los fluidos de corte acuosos se produce principalmente por las siguientes causas (Esteban et al., 2019):

-) Estrés mecánico y térmico de los fluidos de corte debido al mecanizado.
-) Contaminación con aceites parásitos (tramp oils): Los aceites parásitos son aceites distintos a los de la composición del fluido de corte que se mezclan con los mismos. Pueden ser fluidos hidráulicos de la máquina-herramienta perdidos a través de fugas, restos de aceite de corte que se ha mezclado con otro fluido de corte al pasar de máquina en máquina, etc. Estos contaminantes disminuyen el poder refrigerante y favorecen el crecimiento microbiano.
-) Crecimiento microbiano: La presencia de bacterias en los fluidos de corte degrada sus propiedades y genera gases ácidos y malos olores.
-) Presencia de virutas en el fluido de corte: Estos contaminantes producen una reducción en la estabilidad del fluido de corte, un mayor

desgaste de la maquinaria y herramientas y peores acabados de las piezas mecanizadas.

2.3.2. Aguas residuales de fluidos de corte (ARFC)

Son los FC acuosos agotados manejados como aguas residuales para ser tratados mediante técnicas de tratamiento tales como la destilación, flotación por aire disuelto, adsorción, oxidación aeróbica y anaeróbica, coagulación química, oxidación hidrotermal, oxidación foto-Fenton, oxidación ultrasónica y procesos de membrana (Demirbas y Kobya, 2017). Estas ARFC suelen tener una fracción de aceite del 3 al 10% aproximadamente. El resto es agua contaminada con diversos compuestos orgánicos, inorgánicos y aditivos (Graff, 2012).

2.3.3. Normativa ambiental aplicado a las ARFC

) **Decreto legislativo N°1278: Ley de gestión integral de residuos sólidos.**

Artículo 30. – Gestión de residuos sólidos peligrosos.

Señala que los productos usados o vencidos que puedan causar daños a la salud o al ambiente son considerados residuos peligrosos y deben ser manejados como tales, salvo que sean sometidos a un tratamiento que eliminen sus características de peligrosidad (D.L N° 1278, 2016).

) **Decreto supremo N°010-2019-VIVIENDA: Reglamento de valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**

Artículo 2. – El reglamento tiene como finalidad incentivar el tratamiento de aguas residuales para disposición y reúso, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Artículo 13. – Está permitida la descarga directa de aguas residuales no domésticas realizadas por el usuario no doméstico en el sistema de alcantarillado sanitario, siempre que estas no excedan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento.

Tabla 2.4
Anexo N°1 de los Valores Máximos Admisibles (VMA)

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SST	500
Aceites y Grasas	mg/L	AyG	100

Fuente: D.S. N°010-2019-VIVIENDA (2019)

Tabla 2.5
Anexo N°2 de los Valores Máximos Admisibles (VMA)

Parámetros	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Aluminio	mg/L	DBO ₅	10
Arsénico	mg/L	DQO	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4

Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuro	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	-	pH	6-9
Solidos sedimentables	mg/L	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: D.S. N°010-2019-VIVIENDA (2019)

2.3.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la medida de cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química (degradación) de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (D.S. N°010-2019-VIVIENDA, 2019). “La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que su DBO, ya que es mayor el número de compuestos que pueden ser oxidados por vía química, que aquellos que pueden serlo biológicamente a través de acción de organismos” (Azuaje & Muñoz, 2006, p. 10). Es decir, la DQO permite conocer tanto la concentración de la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable, incluyendo también compuestos inorgánicos que pueden ser degradados (oxidados) por un reactivo químico fuerte (Menéndez & Dueñas, 2018).

2.3.5. Cloruro férrico

El cloruro de hierro o tricloruro de hierro (tradicionalmente llamado cloruro férrico) es un compuesto químico utilizado a escala industrial perteneciente

al grupo de los haluros metálicos, cuya fórmula es FeCl_3 . Se observa muy raramente en su forma natural, el mineral molisita, que puede hallarse en algunas fumarolas. El cloruro férrico coagulante es comúnmente utilizado el para tratamiento de aguas y efluentes, en solución al 40%, y se comercializa habitualmente a granel (Manrique & Anderson, 2019).

Por su carácter covalente, es soluble en disolventes orgánicos. En disolución alcohólica se lo conoce como tintura de hierro. Cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro sufre hidrólisis, forma el precipitado hidróxido de hierro y libera calor en una reacción exotérmica (Manrique y Anderson, 2019).



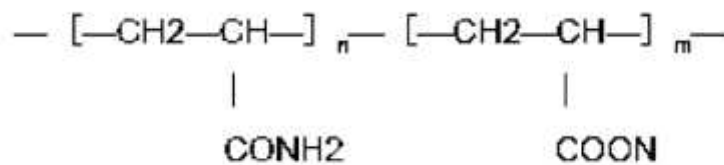
De esa reacción resulta una solución ácida y corrosiva de color marrón que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales, para la potabilización del agua, y en la industria electrónica para el grabado químico de plaquetas de circuito impreso (Manrique & Anderson, 2019).

2.3.6. Floculante Chemlok 2040

Chemlok 2040 es un floculante aniónico de alto peso molecular (poliacrilamida). La poliacrilamida aniónica es un copolímero de ultra peso molecular que está constituido por la acrilamida y el acrilato. El peso molecular puede llegar de hasta más de 12 millones. Cuenta con un buen efecto de la adsorción y se puede elegir el peso molecular según los requisitos del usuario. Este producto es utilizado para diferentes aplicaciones tales como: Tratamiento de efluentes industriales, especialmente para aguas que contienen altas concentraciones de

partículas catiónicas y de pH entre neutro a básico; por ejemplo, siderúrgicas, plantas de galvanizado, refinería de carbón, tratamiento de jugos de caña y tratamiento de agua. El Chemlok 2040 puede ser 10 veces más efectivo con sólo 2% de la dosis del floculante inorgánico utilizado. También puede ser utilizado en el tratamiento de agua contaminada con sustancias orgánicas (Pinto, 2017).

Figura 2.11
Poliacrilamida aniónica (Chemlok 2040)



Fuente: Pinto (2017).

2.4. Definición de términos básicos

-) **Fluido de corte agotado.** - Es un residuo potencialmente peligroso para el medio ambiente, cuya composición inicial se encuentra alterada por disminución de la concentración de sus aditivos (Hernán, 2019).
-) **Agua residual no doméstica.** - Descarga de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distinta a la generada por los usuarios domésticos, quienes descargan aguas residuales domésticas como producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos (D.S. N°010-2019-VIVIENDA, 2019).
-) **Residuos Peligrosos.** - Son residuos sólidos peligrosos aquéllos que, por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente (D.L N° 1278, 2016)

-) **Tratamiento.** - Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, con el objetivo de prepararlo para su posterior valorización o disposición final (D.L N° 1278, 2016).
-) **Proceso de coagulación-floculación.** - Proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos (Lorenzo, 2006).
-) **Coagulación.** - Es un proceso que tiene una serie de reacciones químicas cuyo fin es alterar y desestabilizar la superficie de las partículas coloidales, al adicionar un coagulante que se adhiere a las partículas neutralizando sus cargas y reduciendo las fuerzas de repulsión electrostáticas, lo que da origen a las fuerzas de Van Der Waals que permiten la adhesión de las partículas entre si y posteriormente su aglomeración (Diaz et al., 2018).
-) **Floculación.**- Proceso siguiente a la coagulación; consiste en la agitación suave y continua de las partículas coloidales desestabilizadas anteriormente, lo cual permite la aglomeración y el crecimiento de los flóculos recién formados, aumentando su tamaño y peso, de tal manera que sean removidos fácilmente por medio de la sedimentación (Tafur & Quevedo, 2014).
-) **Coagulantes.** - Son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un

precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando (Andia, 2000).

- J) **Floculantes.** - Son polímeros que favorecen el proceso de floculación, ya sea aumentando la velocidad del proceso o mejorando la calidad del flóculo formado. Pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural u orgánico de síntesis (Tafur & Quevedo, 2014).
- J) **Demanda química de oxígeno (DQO).** - Es la medida de cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (D.S. N°001-2015-VIVIENDA, 2015).
- J) **Valores Máximos Admisibles (VMA).** - Es la concentración de los parámetros, establecidos en el Anexos N° 1 y N° 2 del presente reglamento, contenidos en las descargas de las aguas residuales no domésticas a descargar en los sistemas de alcantarillado sanitario y que puede influenciar negativamente en los procesos de tratamiento de las aguas residuales, al exceder dichos valores (D.S. N°010-2019-VIVIENDA, 2019).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. General

El proceso de coagulación-floculación tiene un efecto significativo en la reducción de la DQO de las aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.

3.1.2. Específicas

-) La reducción de la DQO en porcentaje del proceso coagulación-floculación es mayor al 85%.
-) La dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación lenta tienen mayor influencia en la reducción de la DQO.
-) El incremento de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 tienen un efecto positivo en la reducción de la DQO.
-) El incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta tienen un efecto negativo en la reducción de la DQO.

3.2. Definición conceptual de variables

- **Variable independiente (X).** - Proceso de coagulación-floculación

Proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos que precipitan mediante un agente floculante (Acosta, 2006).

- **Variable dependiente (Y).** - Reducción de la DQO

Es la disminución de la concentración del parámetro DQO, el cual mide de manera indirecta la concentración de la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable, incluyendo también compuestos inorgánicos que pueden ser degradados (oxidados) por un reactivo químico fuerte (Menéndez y Dueñas, 2018).

3.2.1. Operacionalización de variables

➤ **Variable independiente (X).** - Proceso de coagulación-floculación

Indicadores:

-) X1= Dosis de cloruro férrico (mg/L)
-) X2= Dosis de Chemlok 2040 (mg/L)
-) X3= Velocidad de agitación rápida (rpm)
-) X4= Velocidad de agitación lenta (rpm)

) **Variable dependiente (Y).** - Reducción de la DQO

Indicador:

-) Y1 = Reducción de la DQO (%)

Tabla 3.1
Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORES E ÍNDICE	MÉTODO Y TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Proceso de coagulación-floculación	Proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos que precipitan mediante un agente floculante (Acosta, 2006).	Se mide a través de un conjunto de factores (dosis de coagulante, dosis de floculante, velocidad de agitación rápida y lenta) que intervienen en el proceso de coagulación-floculación mediante prueba de jarras.	Dosificación del coagulante	Dosis de cloruro férrico	120 mg/L y 240 mg/L	Para la dosificación del coagulante y floculante se utilizará una jeringa milimétrica y para regular las velocidades se utilizará el equipo de prueba de jarras. La técnica empleada se denomina prueba de jarras	Ficha de registro de datos
			Dosificación del floculante	Dosis de Chemlok 2040	2 mg/L y 4 mg/L		Equipo de prueba de jarras
			Velocidad de agitación	Velocidad de agitación rápida	100 rpm y 200 rpm		Balanza analítica
				Velocidad de agitación lenta	20 rpm y 50 rpm		
VARIABLES DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORES E ÍNDICE	MÉTODO Y TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Reducción de la DQO	Es la disminución de la concentración del parámetro DQO, el cual mide de manera indirecta la cantidad de la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable, incluyendo también compuestos inorgánicos que pueden ser degradados (oxidados) por un reactivo químico fuerte (Menéndez y Dueñas, 2018)	Se medirá relacionando la diferencia de la concentración inicial y final de la DQO sobre su concentración inicial, expresado en porcentaje mediante la siguiente fórmula: $RP = (C_i - C_f) / C_i \times 100\%$ Donde: C_i = Concentración inicial de la DQO. C_f = Concentración final de la DQO.	Reducción de parámetro fisicoquímico	Reducción de la DQO	%	Se utilizará la fórmula matemática descrita en la definición operacional con los resultados de las concentraciones de la DQO halladas en laboratorio con la técnica titrimétrica de Reflujo cerrado, 5220 C del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA- WEF, 2017).	Ficha de registro de datos

Fuente: Elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Para determinar el tipo de investigación se consideró la clasificación de Ñaupas et al. (2018), el cual se detalla a continuación:

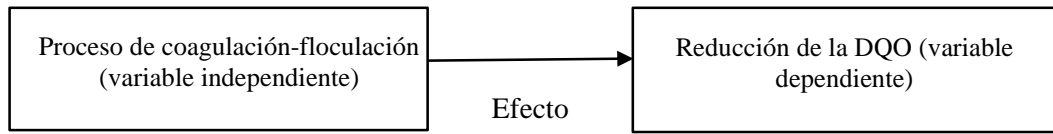
-) **Tipo básico**, pura o fundamental; porque sirve de cimiento para la investigación aplicada como es el tratamiento de ARFC a una escala piloto o mayor.
-) **Nivel explicativo**, porque explica el efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de ARFC mediante un diseño experimental (2^k) y verificación de hipótesis causales.
-) **Enfoque cuantitativo**, porque se utilizan métodos y técnicas (pesado, prueba de jarras, dosificación, técnica titrimétrica de reflujo cerrado 5220 C y observación) que tienen que ver con la medición, el uso de magnitudes dimensionales y adimensionales (mg/L, %), y el tratamiento estadístico.

4.1.2. Diseño de la investigación

Se tiene un diseño de tipo experimental según la clasificación de Hernández y Mendoza (2018) donde los experimentos manipulan el tratamiento o variable independiente (proceso de coagulación-floculación) para observar sus efectos sobre la variable dependiente (reducción de la DQO) como se observa en la figura 4.1.

Figura 4.1

Diseño tipo experimental. Relación de variable independiente y dependiente



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1. Planteamiento del diseño

El diseño experimental que se empleó en el presente trabajo es un diseño factorial 2^4 (cuatro factores y dos niveles) de acuerdo a la tabla 4.1. Se obtiene 16 tratamientos, con un total 32 pruebas experimentales considerando dos réplicas.

Tabla 4.1

Factores y niveles del proceso de coagulación-floculación

Factores	Niveles	
	Bajo (-1)	Alto (+1)
A: Dosis de coagulante	120 mg/L	240 mg/L
B: Dosis de floculante	2 mg/L	4 mg/L
C: Velocidad de agitación rápida	100 rpm	200 rpm
D: Velocidad de agitación lenta	20 rpm	50 rpm

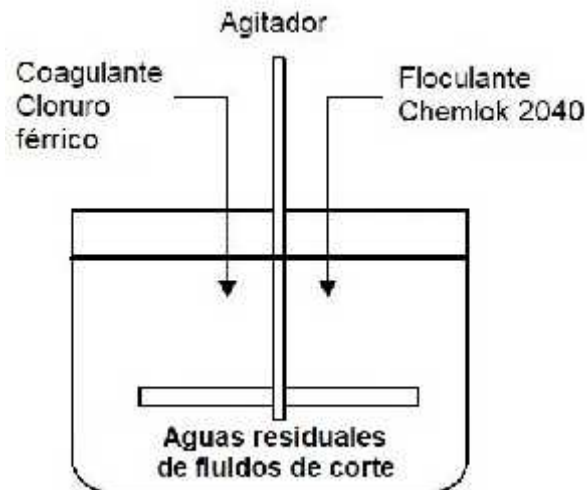
Fuente: Elaboración propia

Para las pruebas experimentales se utilizó un equipo de prueba de jarras de 4 posiciones. En la figura 4.2 se indica diagrama del proceso de coagulación-floculación en el que se utilizó cloruro férrico como agente coagulante y Chemlok 2040 como agente floculante. Cabe mencionar que la muestra de ARFC que se usó para las pruebas

experimentales procede del proceso de mecanizado de piezas metálicas de la empresa CUNIPER S.A.C.

Figura 4.2

Diagrama del proceso de coagulación-floculación con cloruro férrico y Chemlok 2040



Fuente: Elaboración propia

En todas las pruebas experimentales se consideró:

-) Volumen de ensayo: 500 mL
-) Tiempo de agitación rápida: 1 minuto
-) Tiempo de agitación lenta: 3 minutos
-) Tiempo de reposo: 30 minutos

4.1.2.2. Obtención del coagulante cloruro férrico y floculante Chemlok2040

El coagulante cloruro férrico (concentración de 40% en m/v) y floculante Chemlok 2040 (granulado), fue proporcionado por la empresa Tecnochem Industrial S.A.C en 2 frascos de 250 mL como

muestras de su producto (ver Anexo 3). A partir del floculante Chemlok 2040 granulado, se preparó una solución de concentración 0,1% en m/v, según su ficha técnica.

4.1.2.3. Recolección de la muestra

La recolección de las ARFC (50 L) se realizó en el taller de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C. el día 18 de mayo del 2021 a las 09:00 horas, en el momento que se desarrolló la limpieza de los tanques de refrigeración de las siguientes máquinas: torno paralelo Mighty Turn (DM-TPM-01), torno paralelo Pinacho (DM-TPP-01), torno revolver Warner & Sawey (DM-TRW-01) y torno revolver Xervitt (DM-TRX-01).

Figura 4.3

Recolección de los ARFC en el recipiente de 50 L



Fuente: Elaboración propia

Las ARFC se recolectaron en un recipiente de 50 L de capacidad y luego se agitó para homogenizar y tomar muestras para la caracterización de las ARFC (parámetros del anexo N° 01 y N° 02 del D.S. N°010-2019-VIVIENDA, 2019). Las ARFC restantes se almacenaron en 2 bidones de 20L de capacidad y fueron

transportados al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao para las pruebas experimentales.

Figura 4.4

Muestras recolectadas en los bidones de 20 L



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.4. Preparación de la solución del floculante Chemlok 2040 (0,1%)

- i. Se pesó 0,5 gr del floculante Chemlok 2040 granulado en una balanza analítica.
- ii. Luego se agregó lentamente en 500 mL de agua destilada mientras se agita con una bagueta en un vaso de precipitado a fin de obtener una solución de 0,1% de concentración. Esto evitó la formación de grumos o apelmazamientos.
- iii. Posteriormente, mediante equipo de jarras se realizó una agitación rápida (200 rpm) y lenta (20 rpm) de 15 minutos individualmente. Finalmente se dejó 5 minutos en reposo.

Figura 4.5
Preparación del floculante Chemlok 2040 (0,1%)



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.5. Ajuste del pH con cal apagada

Para realizar las pruebas experimentales se llevó a cabo el acondicionamiento de las muestras de ARFC ajustando su pH, con el objetivo de que el proceso de coagulación-floculación sea más eficiente (Demirbas y Kobya, 2017).

- i. Se midió el pH inicial de la muestra el cual fue de 6,76.
- ii. Se ajustó el pH a un valor ligeramente alcalino de 7,6 agregando 0,5 gr de cal apagada por 1L de muestra.

En la tabla 5.3 se indica los valores del pH de las muestras sin y con cal apagada.

Tabla 4.1
Medición del pH del ARFC sin y con cal apagada (c.a.)

Parámetros	Simbología	ARFC sin c.a.	ARFC con c.a.
Potencial de hidrógeno	pH	6,76	7,6

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6
Ajuste de pH con cal apagada



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.6. Prueba experimental

- i. En el proceso de coagulación se dosificó con una solución de cloruro férrico al 40% de concentración (dosis de nivel bajo de 120 mg/L y nivel alto de 240 mg/L) a la muestra preparada de ARFC en vasos de precipitado de 500 mL, a 2 velocidades de agitación rápida (nivel bajo de 100 rpm y nivel alto de 200 rpm) dependiendo del tratamiento. El tiempo de agitación rápida fue de 1 minuto.

Figura 4.7
Dosificación del coagulante cloruro férrico al 40%



Fuente: Elaboración propia

- ii. Luego en el proceso de floculación se dosificó con floculante aniónico Chemlok 2040 al 0,1% de concentración (dosis de nivel bajo de 2 mg/L y de nivel alto de 4 mg/L), a 2 velocidades de agitación lenta (nivel bajo de 20 rpm y nivel alto de 50 rpm). El tiempo de agitación lenta fue de 3 minutos.

Figura 4.8

Dosificación del floculante Chemlok 2040



Fuente: Elaboración propia

- iii. Seguidamente se dejó reposar durante 30 minutos

Figura 4.9

Sedimentación después del proceso de coagulación-floculación



Fuente: Elaboración propia

- iv. Posteriormente se recuperó la muestra con una pipeta de 10 mL en un vaso de precipitado de 250 mL.

Figura 4.10

Recuperación de la muestra después del proceso de coagulación-floculación



Fuente: Elaboración propia

- v. Finalmente se mandó a analizar la DQO con 120 ml por muestra de cada tratamiento realizado al laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C.

Figura 4.11

Recolección de las muestras después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.7. Cálculo de la reducción de la DQO en porcentaje

La reducción de la DQO en porcentaje (R) se determinó mediante comparación de las concentraciones (mg/L) antes y después de cada prueba experimental, utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} 100$$

Donde:

C_i : Concentración inicial de la DQO (mg/L)

C_f : Concentración final de la DQO (mg/L)

4.2. Método de investigación

Según Rodríguez y Pérez (2017), los métodos de investigación se clasifican en nueve métodos: Método analítico-sintético, inductivo-deductivo, hipotético-deductivo, histórico-lógico, genético, de analogías, de modelación, sistémico-estructural-funcional, de sistematización.

Para el presente trabajo se utilizó el método hipotético-deductivo, dado que las hipótesis fueron los puntos de partida para nuevas deducciones. Las hipótesis fueron inferidas de principios químicos (proceso de coagulación-floculación) y datos empíricos (antecedentes) que se sometieron a verificación mediante prueba de jarras, donde se comprobó la veracidad de la hipótesis de partida arribando a nuevas deducciones.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población son las ARFC generadas en el proceso de mecanizado de piezas metálicas de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.

4.3.2. Muestra

La muestra corresponde a un volumen de 50 L de las ARFC generadas en el proceso de mecanizado de piezas metálicas de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Las ARFC fueron obtenidas de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C. ubicada en la urbanización San Pedro, distrito de Carabayllo, Lima y las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

El periodo en el cual se desarrolló el trabajo de investigación fue durante los meses de abril, mayo y junio del 2021.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas

La técnica utilizada para la manipulación de los indicadores de la variable independiente (dosis de cloruro férrico, dosis de Chemlok 2040, velocidad de agitación rápida y lenta) fue la prueba de jarras, la cual simula el proceso de coagulación-floculación a nivel de laboratorio.

Para el análisis de la DQO en laboratorio se utilizó la técnica titrimétrica de reflujo cerrado, 5220 C del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association-American Water Works Association-Water Environment Federation [APHA-AWWA-WEF], 2017); donde la materia orgánica es oxidada con una solución fuertemente ácida de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ restante sin reducir se titula con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumida, y la materia oxidada se calcula en términos de oxígeno equivalente.

4.5.2. Instrumentos

Se utilizó una ficha de registro de datos como instrumento para la recolección de datos (ver anexo 4).

4.5.3. Materiales

-) 16 vasos de precipitado de 500 mL.
-) 16 vasos de precipitado de 250 mL.
-) 02 vasos de precipitado de 1L.
-) 02 jeringas milimétricas de 2.5 mL.
-) 01 pipeta de 10 mL.

-) 01 luna de reloj.
-) 01 bagueta.
-) 01 caja de guantes de nitrilo.

4.5.4. Equipos

Los equipos empleados se detallan a continuación:

-) Equipo de jarras de marca Lovibond Water Testing y modelo ET 730.
-) Balanza analítica de marca Adam Equipment Company y modelo Nimbus NBL.
-) Multiparámetro de marca OAKTON y modelo PCD650.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Los datos obtenidos de las pruebas experimentales fueron analizados y procesados con las herramientas de la estadística descriptiva e inferencial empleando el programa Minitab versión 2019. Las etapas se detallan a continuación:

Primero, se creó el diseño factorial con la opción: Estadísticas - Diseño de experimentos (DOE) - factorial - crear diseño factorial. Seguidamente se ingresaron los niveles de los factores y los datos de la reducción de la DQO para obtener el diseño factorial planteado 2^4 .

Segundo, se analizó el diseño factorial con la opción: Diseño de experimentos (DOE) - factorial - analizar diseño factorial – almacenamiento – residuos – aceptar. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Análisis de varianza (ANOVA), diagrama de Pareto, gráfica de probabilidad normal de residuo, gráfica

de residuo vs. al orden de observación y gráfica de residuo vs. valor ajustado. Para validar dichos resultados, se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad, mediante las siguientes pruebas de análisis de residuos: prueba de Ryan-Joiner, Durbin-Watson y Bartlett.

Es preciso señalar que Melo et al. (2020) afirman que “No se debe aplicar una técnica estadística sin antes verificar que los supuestos del modelo estén razonablemente satisfechos” (p.237) y que “no basta con la simple visualización de los gráficos de análisis de residuos, sino que se deben realizar las pruebas estadísticas pertinentes que confirmen los supuestos” (p.242).

Por último, con el mismo programa Minitab, se escogió la opción: Estadísticas – DOE – Factorial, para procesar los datos de todos los tratamientos mediante los siguientes gráficos descriptivos:

-)] Gráfica de cubos, para determinar la reducción mínima y máxima de la DQO en porcentaje y los valores de los factores con los cuales se obtiene dichas reducciones.
-)] Efectos principales, para analizar el efecto de las dosis de cloruro férrico, Chemlok 2040, velocidad de agitación rápida y lenta.

V. RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados del análisis y del procesamiento de los datos. A continuación se muestra la verificación de los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad de los residuos.

) **Supuesto de normalidad**

Para comprobar el supuesto de normalidad se realizó la prueba de Ryan-Joiner, planteando las siguientes hipótesis:

H_0 : Los residuos siguen una distribución normal.

H_1 : Los residuos no siguen una distribución normal.

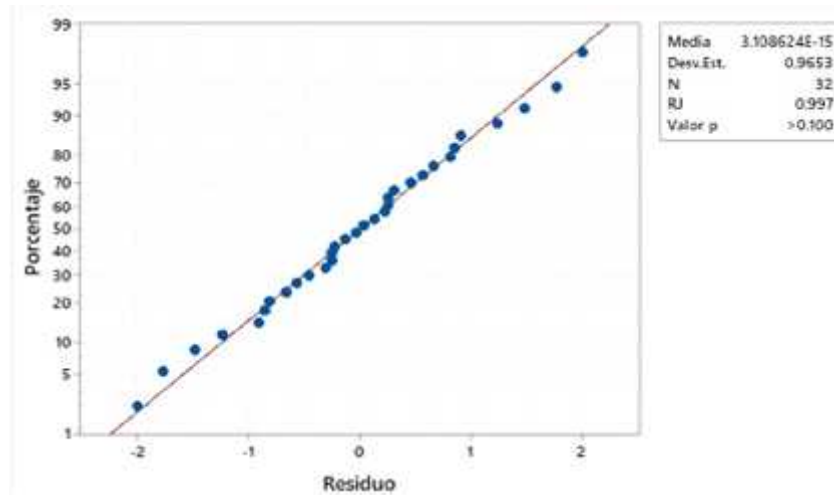
Si $p < \alpha$, se rechaza H_0

Si $p > \alpha$, no se rechaza H_0

De acuerdo a la figura 5.1, se observa que los residuos se ajustan al modelo lineal y además el valor p es $> 0,100$. Se observa que el valor p es mayor al nivel de significancia de la prueba estadística, por lo tanto, la hipótesis nula no se rechaza, es decir los residuos siguen una distribución normal.

Figura 5.1

Gráfica de probabilidad de los residuos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$



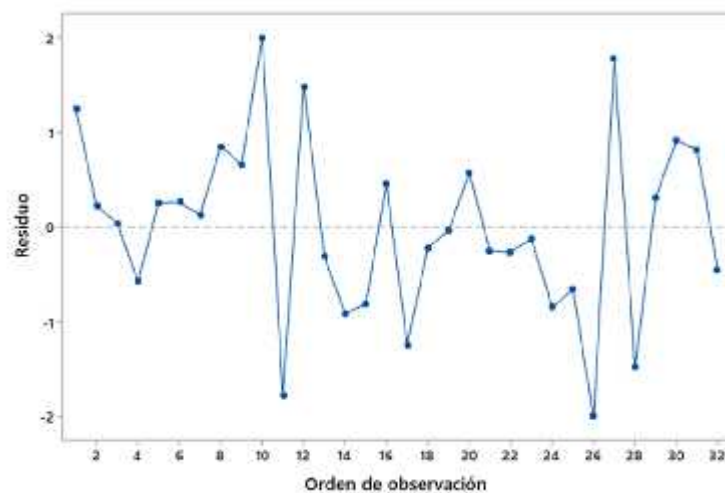
Fuente: Elaboración propia

) Supuesto de independencia

En la figura 5.2 se presenta los residuos respecto al orden de observación, a fin de detectar una correlación. Dado que en dicha figura no se aprecian tendencias o patrones de los residuos, se puede afirmar que cumple el supuesto de independencia.

Figura 5.2

Gráfica del residuo con respecto al orden de observación



Fuente: Elaboración propia

Para confirmar que no hay correlación de los errores se usó el estadístico de la prueba de Durbin-Watson, cuyo valor es $d = 2,59210$ (valor obtenido por el programa Minitab19).

La prueba de hipótesis para el estadístico Durbin-Watson es la siguiente:

H_0 : Los residuos no tienen correlación

H_1 : Los residuos tienen correlación

Si $d < d_L$, se rechaza H_0

Si $d > d_U$, no se rechaza H_0

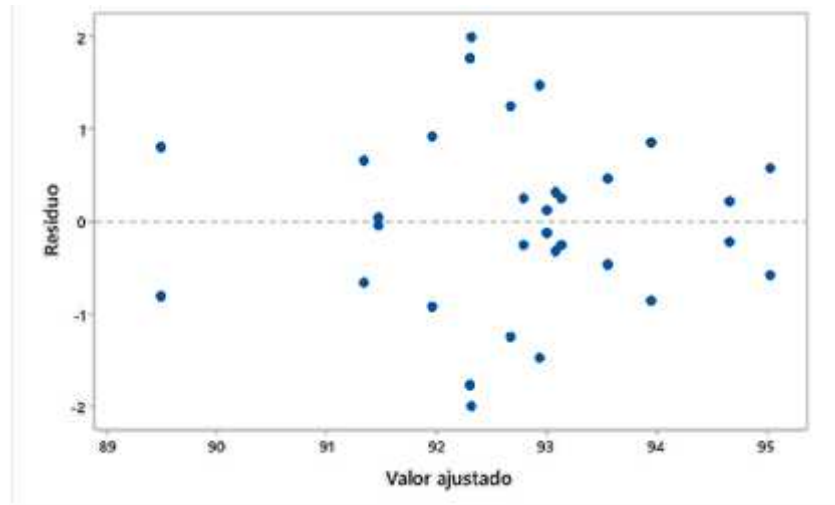
Si $d_L \leq d \leq d_U$, sin decisión

De las Tablas de Durbin-Watson (ver Anexo 10), para $n = 32$ observaciones y $k^* = 4$ (número de factores) a un nivel de significancia del 5% se tienen un límite inferior $d_L = 1,177$ y un límite superior $d_U = 1,732$; puesto que el valor estimado $d = 2,59210$ es mayor que $d_U = 1,732$; no se rechaza la hipótesis nula, es decir no hay una correlación entre los residuos.

) **Supuesto de homocedasticidad**

De acuerdo a la figura 5.3 se observa que los valores ajustados se distribuyen aleatoriamente en una banda horizontal, sin ninguna tendencia extraña y ningún patrón de distribución; esto es señal de que la varianza de los residuos es constante.

Figura 5.3
Gráfica del residuo con respecto al valor ajustado



Fuente: Elaboración propia

Para corroborar la homogeneidad de varianzas, se ha propuesto la prueba estadística de Bartlett para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$:

Las hipótesis planteadas son:

H_0 : Varianzas de los residuos son iguales

H_1 : Varianzas de los residuos son diferentes

Si $p < \alpha$, se rechaza H_0

Si $p > \alpha$, no se rechaza H_0

Para esta prueba el valor p de Bartlett es 0,449 (valor obtenido por el programa Minitab19); dicho valor es mayor que el nivel de significancia, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula H_0 , cumpliendo el supuesto de igualdad de varianzas.

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Reducción de la DQO en porcentaje

La tabla 5.1 muestra los resultados de la DQO para los 16 tratamientos con 2 réplicas. Asimismo, se indica los resultados de la concentración final de la DQO y su reducción en porcentaje.

Tabla 5.1

Resultados de la concentración final de la DQO y su reducción en porcentaje para diferentes tratamientos

A: Cloruro férico (mg/L)	B: Chemlok 2040 (mg/L)	C: Velocidad de agitación rápida	D: Velocidad de agitación lenta	Tratamientos	Réplicas	DQO (mg/L)	Reducción DQO en %
0	0	0	0	T0	T0-R0	6210	-
120	2	100	20	T1	T1-R1	377,9	93,91
					T1-R2	532,8	91,42
120	2	100	50	T2	T2-R1	497,4	91,99
					T2-R2	579,7	90,67
120	2	200	20	T3	T3-R1	431,4	93,05
					T3-R2	463,4	92,54
120	2	200	50	T4	T4-R1	449,2	92,77
					T4-R2	409,7	93,40
120	4	100	20	T5	T5-R1	527,0	91,51
					T5-R2	532,4	91,43
120	4	100	50	T6	T6-R1	588,7	90,52
					T6-R2	367,6	94,08
120	4	200	20	T7	T7-R1	427,4	93,12
					T7-R2	442,8	92,87
120	4	200	50	T8	T8-R1	703,8	88,67
					T8-R2	602,2	90,30
240	2	100	20	T9	T9-R1	317,2	94,89
					T9-R2	344,8	94,45
240	2	100	50	T10	T10-R1	352,5	94,32
					T10-R2	602,0	90,31
240	2	200	20	T11	T11-R1	410,6	93,39
					T11-R2	442,8	92,87
240	2	200	50	T12	T12-R1	556,7	91,04
					T12-R2	442,8	92,87
240	4	100	20	T13	T13-R1	344,2	94,46
					T13-R2	272,5	95,61

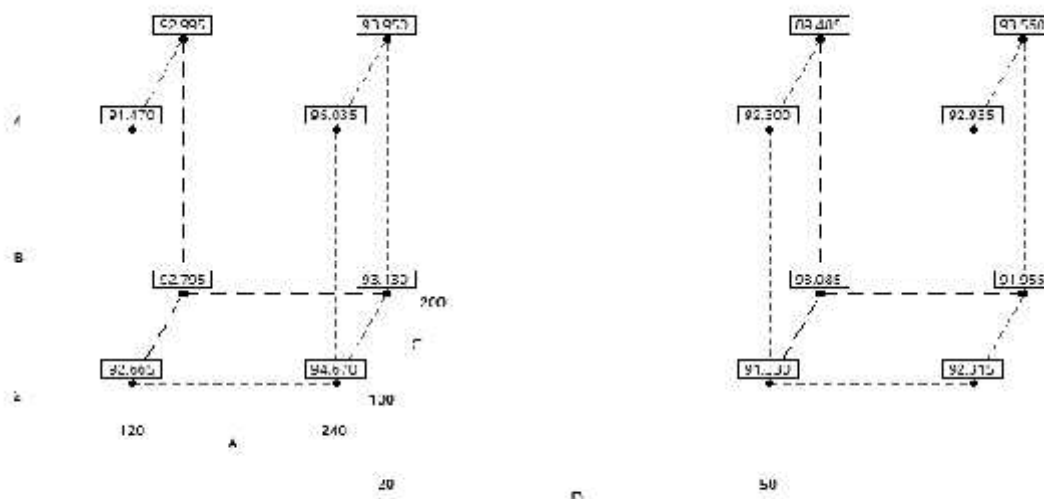
240	4	100	50	T14	T14-R1	346,4	94,42
					T14-R2	530,9	91,45
240	4	200	20	T15	T15-R1	323,0	94,80
					T15-R2	428,7	93,10
240	4	200	50	T16	T16-R1	371,5	94,02
					T16-R2	428,7	93,10

Fuente: Elaboración propia

La figura 5.4 muestra los datos promedio de la reducción de la DQO en porcentaje de cada tratamiento distribuidos en los 8 vértices de 2 cubos y ordenados según la relación de los 4 factores considerados en el análisis (A: dosis de cloruro férrico, B: dosis de Chemlok 2040, C: velocidad de agitación rápida y D: velocidad de agitación lenta).

Figura 5.4

Gráfica de cubos con datos promedios de la reducción de la DQO en porcentaje para cada tratamiento



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.2 se presenta la reducción mínima y máxima de la DQO en porcentaje y los valores de los factores con los cuales se obtiene dichas reducciones, obtenidas de la interpretación de la gráfica de cubos (figura 5.4)

Tabla 5.2
Valores de los factores del proceso de coagulación-floculación para la reducción de la DQO mínima y máxima en porcentaje

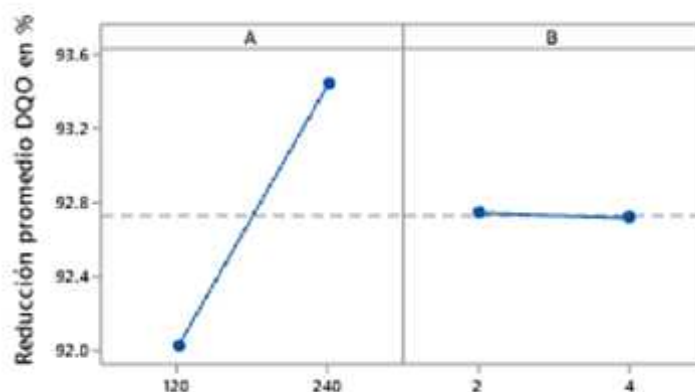
Reducción de la DQO	Dosis de cloruro férrico (mg/L)	Dosis de Chemlok 2040 (mg/L)	Velocidad de agitación rápida (rpm)	Velocidad de agitación lenta (rpm)
Mínimo (89,49%)	Baja (-1): 120	Alta (+1): 4	Alta (+1): 200	Alta (+1): 50
Máximo (95,04%)	Alta (+1): 240	Alta (+1): 4	Baja (-1): 100	Baja (-1): 20

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Efecto de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO

La figura 5.5 muestra los efectos de los factores A y B mediante una recta, donde se puede apreciar que solo el factor A: dosis de cloruro férrico tiene influencia en la reducción de la DQO.

Figura 5.5
Gráfico de efectos de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.3 se muestra la interpretación de los efectos de la dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 sobre la reducción de la DQO en porcentaje a partir de la figura 5.5.

Tabla 5.3

Interpretación de los efectos de cada factor en la reducción de la DQO

Factor	Efecto	Interpretación
A: Dosis de cloruro férrico	Positivo	Al incrementarse la dosis de coagulante de 120 mg/L a 240 mg/L, se incrementó la reducción de la DQO de 92% a 93,4%.
B: Dosis de Chemlok 2040	-	Al incrementarse la dosis de floculante chemlok 2040 de 2 mg/L a 4 mg/L, no tuvo efecto en la reducción de la DQO.

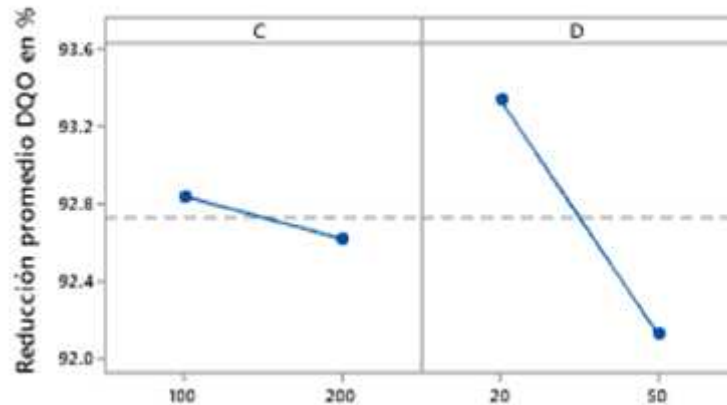
Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Efecto de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO

La figura 5.6 muestra los efectos de los factores C y D mediante una recta, donde se puede apreciar que el factor D: velocidad de agitación lenta tiene una mayor influencia en la reducción de la DQO.

Figura 5.6

Gráfico de efectos de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.4 se muestra la interpretación de los efectos de las velocidades de agitación rápida y lenta sobre la reducción de la DQO en porcentaje a partir de la figura 5.6.

Tabla 5.4

Interpretación de los efectos de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO

Factor	Efecto	Interpretación
C: Velocidad de agitación rápida	Negativo	Al incrementarse la velocidad de agitación rápida de 100 rpm a 200 rpm, disminuyó ligeramente la reducción de la DQO de 92,8% a 92,6%.
D: Velocidad de agitación lenta	Negativo	Al incrementarse la velocidad de agitación lenta de 20 rpm a 50 rpm, disminuyó la reducción de la DQO de 93,3% a 92,1%.

Fuente: Elaboración propia

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Factores del proceso de coagulación-floculación que tienen mayor influencia en la reducción de la DQO

Los factores e interacciones que difieren significativamente son todos aquellos cuyos valores p son menores que $\alpha = 0,05$. De acuerdo a la tabla 5.5, la dosis de coagulante y velocidad de agitación lenta son factores que difieren significativamente (tienen mayor influencia) respecto a los demás factores e interacciones.

Tabla 5.5

Análisis de varianza de la reducción de la DQO en porcentaje respecto a los factores A, B, C, D y sus interacciones

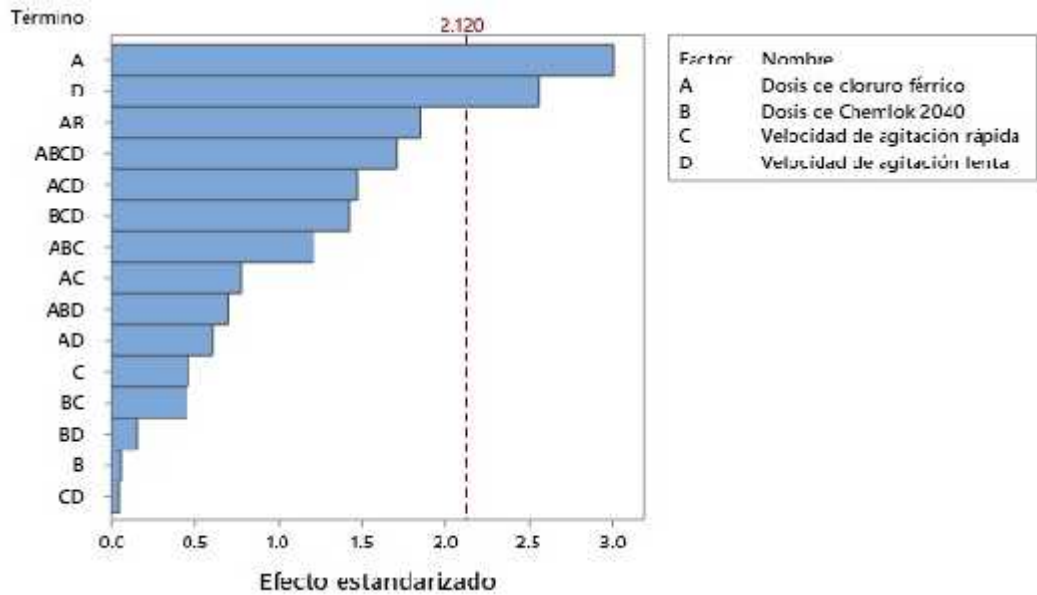
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	53,3920	3,5595	1,97	0,095
Lineal	4	28,5821	7,1455	3,96	0,020
A	1	16,3163	16,3163	9,04	0,008
B	1	0,0058	0,0058	0,00	0,956
C	1	0,3894	0,3894	0,22	0,649
D	1	11,8706	11,8706	6,58	0,021
Interacciones de 2 términos	6	8,3606	1,3934	0,77	0,603
A*B	1	6,1864	6,1864	3,43	0,083
A*C	1	1,0915	1,0915	0,60	0,448
A*D	1	0,6584	0,6584	0,36	0,554
B*C	1	0,3763	0,3763	0,21	0,654
B*D	1	0,0443	0,0443	0,02	0,878
C*D	1	0,0038	0,0038	0,00	0,964
Interacciones de 3 términos	4	11,1761	2,7940	1,55	0,236
A*B*C	1	2,6623	2,6623	1,47	0,242
A*B*D	1	0,8945	0,8945	0,50	0,492
A*C*D	1	3,9270	3,9270	2,18	0,160
B*C*D	1	3,6924	3,6924	2,05	0,172
Interacciones de 4 términos	1	5,2731	5,2731	2,92	0,107
A*B*C*D	1	5,2731	5,2731	2,92	0,107
Error	16	28,8858	1,8054		
Total	31	82,2779			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5.7 se muestra que a partir del valor del efecto estandarizado igual a 2.120, los factores A (dosis de coagulante) y D (velocidad de agitación lenta) pasan la línea punteada, por lo tanto tienen una mayor influencia en la reducción de la DQO en porcentaje.

Figura 5.7

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados respecto a la reducción de la DQO en porcentaje con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$



Fuente: Elaboración propia

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. Contrastación y demostración de la hipótesis general

) **Hipótesis general:** El proceso de coagulación-floculación tiene un efecto significativo en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.

Esta hipótesis es verdadera. Se contrasta y demuestra veracidad con los resultados de las concentraciones finales de la DQO (tabla 5.1), donde se aprecia una reducción significativa de la DQO desde una concentración inicial de 6210 mg/L a valores por debajo del VMA (1000 mg/L) en todas las pruebas experimentales. Además, la reducción máxima de la DQO que se logra con el proceso de coagulación-floculación es del 95,04%, utilizando dosis de cloruro férrico de 240 mg/L, dosis de Chemlok 2040 de 4 mg/L, velocidad de agitación rápida de 100 rpm y velocidad de agitación lenta de 20 rpm.

6.1.2. Contrastación y demostración de hipótesis específicas

) **Primera hipótesis específica:** La reducción de la DQO del proceso coagulación-floculación es mayor al 85%.

Esta hipótesis es verdadera. Se contrasta y demuestra veracidad con la tabla 5.2 donde se presenta una reducción mínima del 89,49% y máxima del 95,04% utilizando 2 niveles (-1 y +1) para la dosis de cloruro férrico (120 y 240 mg/L), dosis de Chemlok 2040 (2 y 4 mg/L),

velocidad de agitación rápida (100 y 200 rpm) y velocidad de agitación lenta (20 y 50 rpm).

-) **Segunda hipótesis específica:** La dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación lenta tienen mayor influencia en la reducción de la DQO.

Esta hipótesis es verdadera. Se contrasta y demuestra veracidad con los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la tabla 5.5, en el cual los factores que tienen mayor influencia con un valor $p < 0,05$ son los factores A (dosis de cloruro férrico) y D (Velocidad de agitación lenta). Además, de la misma tabla se puede observar que el factor A tiene el valor F más alto de 9,04, esto significa que tiene la mayor influencia. Estos resultados se visualizan mejor con el diagrama de Pareto respecto a la reducción de la DQO (figura 5.7). En dicho diagrama se reafirma que los factores A y D tienen mayor influencia en la reducción de la DQO por la longitud de sus barras horizontales.

-) **Tercera hipótesis específica:** El incremento de la dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 tiene un efecto positivo en la reducción de la DQO.

Esta hipótesis no es verdadera. Con la gráfica de efectos de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO (figura 5.5) solo se muestra un efecto positivo para el incremento de la dosis de cloruro férrico, mientras que para el incremento de la dosis de Chemlok 2040 no se muestra ningún efecto. Al incrementarse la dosis de coagulante de 120 mg/L a 240 mg/L, se incrementa la reducción

de la DQO de 92% a 93,4%. Sin embargo, cuando se incrementa la dosis de floculante Chemlok 2040 de 2 mg/L a 4 mg/L, no se tiene ningún efecto en la reducción de la DQO.

) **Cuarta hipótesis específica:** El incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta tienen un efecto negativo en la reducción de la DQO.

Esta hipótesis es verdadera. Se contrasta y demuestra veracidad con la gráfica de efectos de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO (figura 5.6). En dicha gráfica se muestra un efecto negativo para las velocidades de agitación rápida y lenta. Respecto a la velocidad de agitación rápida, al incrementarse de 100 rpm a 200 rpm, disminuye ligeramente la reducción de la DQO de 92,8% a 92,6%. De igual manera, al incrementarse la velocidad de agitación lenta de 20 rpm a 50 rpm, disminuye la reducción de la DQO de 93,3% a 92,1%.

6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares

Según los resultados experimentales se determinó que el proceso de coagulación-floculación tiene un efecto significativo en la reducción de la DQO de las ARFC, dado que se obtuvo una reducción mínima de 89,49% y máxima de 95,04% para una concentración inicial de la DQO de 6210 mg/L y un pH ajustado de 7,6. La mayor reducción de la DQO obtenida de 95,04% fue con niveles altos (+1) de dosis de cloruro férrico de 240 mg/L y de Chemlok 2040 de 4 mg/L, y niveles bajos (-1) de velocidades de agitación rápida de 100 rpm y lenta

de 20 rpm. Estos resultados se pueden contrastar con el estudio de Demirbas y Kobya (2017), donde también se obtiene un efecto significativo para la reducción de la DQO de ARFC en un rango más amplio de 55 a 93% y usando solamente cloruro férrico. En dicho estudio se trabajó con una concentración inicial de la DQO mucho mas elevada de 17312 mg/L y un pH ajustado similar de 7,5. También, se obtuvo una reducción máxima para la DQO similar, la cual fue del 93%, con una dosis de cloruro férrico mucho mayor de 500 mg/L, y velocidades de agitación rápida de 160 rpm y lenta de 30 rpm. Por otro lado, Vahid et al. (2013), a diferencia del presente trabajo, demostró que el proceso de coagulación química tiene una eficiencia de remoción menor para la DQO de 88,36% con una dosis de coagulante de FeCl_3 mayor de 40 g/L.

Otro resultado que se puede contrastar con el presente trabajo son los factores que influyeron significativamente en la reducción de la DQO, siendo estos la dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación lenta. En ese sentido, el estudio de Zhao et al. (2021), corrobora que la dosis de coagulante influye significativamente. Además, Demirbas y Kobya (2017) y Zhao et al. (2021) afirman que el pH influye significativamente, el cual debe mantenerse en el rango de la alcalescencia y cerca del pH 7 para las ARFC usando cloruro férrico como agente coagulante.

Además, en el presente trabajo se demostró que el incremento de la dosis del floculante aniónico Chemlok 2040 no tiene efecto en la reducción de la DQO. De igual manera, Lazarevi et al. (2013) en su estudio demuestra que la eficacia del proceso de coagulación-floculación para la reducción de la DQO no depende del

tipo ni cantidad del floculante. Sin embargo, Zhao et al. (2021) afirma que la dosis de floculante tiene una influencia significativa en la reducción de la DQO, aunque no lo comprueba experimentalmente.

Respecto a los resultados del análisis estadístico sobre el incremento de la velocidad de agitación rápida y lenta, los cuales tienen un efecto negativo, no se tienen antecedentes similares con los cuales se pueda contrastar.

6.3. Responsabilidad ética

En el presente trabajo de investigación, los autores, en concordancia al Código de Ética de Investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 260- 2019-CU, del 16 de julio de 2019, declaran que la unidad de estudio no incluye seres humanos y/o animales; además la investigación no ocasiona acciones lesivas a la naturaleza ni a la biodiversidad, respeta los elementos y diversidad bióticos, abióticos, genéticos, étnicos, culturales y sociales.

El desarrollo de la investigación se centra en la transparencia del investigador, que comprende lo siguiente:

- ✓ No falsificar o inventar datos o resultados total o parcialmente.
- ✓ No plagiar datos, resultados, tablas, cuadros e información de otros autores o investigadores.
- ✓ Citar las referencias o fuentes bibliográficas, datos, resultados e información general de otros autores o investigadores.
- ✓ Respetar los derechos de autoría y de propiedad intelectual de otros autores e investigadores.

Evidenciando de esta forma la originalidad de este trabajo de investigación. Los autores se responsabilizan por el contenido total del documento, el mismo que ha sido elaborado cumpliendo estrictamente con la normatividad institucional, establecido en el Reglamento General de Investigación de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 238- 2019-CU, del 16 de julio de 2019.

CONCLUSIONES

- J El proceso de coagulación-floculación ha demostrado tener un efecto significativo en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C., obteniendo concentraciones finales por debajo del VMA (1000 mg/L) en todas las pruebas experimentales. Además, la reducción máxima de la DQO que se logra con el proceso de coagulación-floculación es del 95,04%, a una concentración inicial de la DQO de 6210 mg/L, un pH ajustado de 7,6, utilizando una dosis de cloruro férrico de 240 mg/L, de Chemlok 2040 de 4 mg/L, velocidad de agitación rápida de 100 rpm y velocidad de agitación lenta de 20 rpm.
- J La reducción de la DQO en porcentaje de las aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C. que se obtiene con el proceso de coagulación-floculación, es mayor al 89,49% utilizando 2 niveles (-1 y +1) para la dosis de cloruro férrico (120 y 240 mg/L), dosis de Chemlok 2040 (2 y 4 mg/L), velocidad de agitación rápida (100 y 200 rpm) y velocidad de agitación lenta (20 y 50 rpm).
- J Los factores que tienen mayor influencia en la reducción de la DQO son la dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación lenta, de los cuales, la dosis de cloruro férrico tiene mayor relevancia.
- J El incremento de la dosis de cloruro férrico de 120 a 240 mg/L tiene un efecto positivo en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos

de corte. Esto quiere decir que un incremento en la dosis de cloruro férrico aumenta la reducción de la DQO. Además, se determinó que el incremento de la dosis del floculante Chemlok 2040 de 2 a 4 mg/L no tiene efecto sobre la reducción de la DQO, dado que permanece constante. Por lo tanto, conviene utilizar solo cloruro férrico en el proceso de coagulación-floculación con una dosis de 240 mg/L. Sin embargo, la ausencia del floculante Chemlok 2040 en el proceso disminuye la rapidez de formación de flóculos.

- J El incremento de la velocidad de agitación rápida y lenta tienen un efecto negativo en la reducción de la DQO. Esto quiere decir que un incremento de la velocidad de agitación rápida y lenta disminuye la reducción de la DQO. Por lo tanto, conviene tener velocidades bajas de agitación rápida y lenta de 100 rpm y 20 rpm respectivamente.

RECOMENDACIONES

-) Se recomienda realizar análisis de laboratorio por triplicado antes y después de cada tratamiento, a fin de tener resultados más confiables y puedan ser corroborados.
-) Sería necesario realizar un pretratamiento mediante una trampa de grasas a las aguas residuales de fluidos de corte antes de simular el proceso de coagulación-floculación con la prueba de jarras, esto debido a la presencia de aceites sobrenadantes y para obtener mejores resultados.
-) Sería importante evaluar la reducción de los demás parámetros del anexo N°1 de los VMA (AyG, DBO₅ y SST), dado que sobrepasan los VMA según la caracterización realizada en este trabajo de investigación (anexo 2).
-) Asimismo, se recomienda evaluar el volumen y el manejo de los lodos generados por el proceso de coagulación-floculación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. F. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación* (1st ed.). Universidad de Murcia.
- American Public Health Association-American Water Works Association-Water Environment Federation [APHA-AWWA-WEF]. (2017). 5220 Chemical Oxygen Demand (COD). In *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed., Issue 5000, pp. 14–19). http://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Inorganic_SM5220.pdf
- Andia, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. In *Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico*. Sedapal. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Aranberri, I., Binks, B. P., Clint, J. H., & Fletcher, P. D. I. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3), 211–231. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2006-aranberri.pdf>
- Asociación de industriales metalúrgicos de la república de Argentina [ADIMRA]. (2019). *Guía para una producción sustentable del sector metalmecánico* (1ra ed.). file:///C:/Users/Asus/Downloads/guia_metalmecanica (1).pdf
- Azuaje, E. G., & Muñoz, R. A. (2006). Diseño, construcción y evaluación preliminar de un sistema de reactor biológico secuencial a escala [Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela]. In *Repositorio institucional de la UCV*. <http://saber.ucv.ve/handle/123456789/15559>
- Barriga, G. E. (2015). *Remoción de metales pesados de efluentes industriales del sector metal-mecánico utilizando un consorcio bacteriano nativo* [Trabajo de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/>
- Cabello, S. (2015). Gestión y reducción de residuos sólidos en la industria del automóvil [Trabajo de grado, Universidad de Sevilla]. In *Depósito de investigación Universidad de Sevilla*. <https://idus.us.es/handle/11441/52781>
- Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del Granma” a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, 29(3), 64–73. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- Cheng, C., Phipps, D., & Alkhaddar, R. M. (2005). Treatment of spent metalworking fluids. *Water Research*, 39(17), 4051–4063. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.012>
- Chipasa, K. (2013). Best practice guide for the disposal of water-mix metalworking fluids. In *United Kingdom Lubricants Association [UKLA]*. <https://www.ukla.org.uk/wp-content/uploads/UKLA-PERA-Best-Practice-Guide-for-the-Disposal-of-Water-mix-Metalworking-Fluids.pdf>

- Coca, J., Gutiérrez, G., & Benito, J. M. (2011). Water Purification and Management. In J. Coca-Prados & G. Gutiérrez-Cervelló (Eds.), *Water purification and management*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9775-0>
- Condorchem Envitech. (2018). *Tratamiento de los efluentes generados en la industria metal - mecánica*. <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-efluentes-industria-metal-mecanica/>
- D.L N° 1278: Ley de gestión integral de residuos sólidos, (2016). <https://diariooficial.elperuano.pe/normas>
- D.S. N°001-2015-VIVIENDA: Modificación de diversos artículos del D.S. N°021-2009-VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, (2015). <https://diariooficial.elperuano.pe/normas>
- D.S. N°010-2019-VIVIENDA: Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, (2019).
- D.S. N° 014-2017-MINAM: Reglamento de la ley de gestión integral de residuos sólidos, (2017). <https://diariooficial.elperuano.pe/normas>
- Demirbas, E., & Koby, M. (2017). Operating cost and treatment of metalworking fluid wastewater by chemical coagulation and electrocoagulation processes. *Process Safety and Environmental Protection*, 105, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.10.013>
- Díaz, N., Lino, C., & Quispe, R. (2018). Uso del Quitosano como coagulante natural para el tratamiento de efluentes generados por la Industria Textil Caso: Compañía Universal Textil [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. In *Repositorio institucional digital de la Universidad Nacional del Callao*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3338>
- Dirección General de Salud Pública [DIGESA]. (2006). *Manual de difusión técnica N° 01: Gestión de los residuos peligrosos en el Perú*. <http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/publicaciones.asp>
- Esteban, M. M., Díaz Álvarez, A., Díaz Álvarez, J., & Cantero Guisández, José Luis Miguélez Garrido, M. H. (2015). *Capítulo 5: Conformación por arranque de viruta*. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-mecanica/material-de-clase-1/ocw-capitulo5.pdf>
- Fundación Entorno Empresa y Medio Ambiente. (1998). *Informe medioambiental del sector metalmecánico*. https://www.bizkaia21.eus/Biblioteca_Virtual/index.asp?Idioma=ca&idpagina=120
- Hernán, C. (2019). Optimización de rectificado de ADI con MQL [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Mar de Plata]. In *Repositorio institucional INTEMA y de la Facultad de ingeniería [RIFINI] de la Universidad Nacional de Mar de Plata*. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/392>
- Hernández, L., & Quesada, A. (2002). Fluidos de corte, consecuencias y

- perspectivas. *Ciencias Holguín*, 8(3).
- Hernández, R., & Mendoza, P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT]. (1991). *NTP 317: Fluidos de corte: criterios de control de riesgos higiénicos*. https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_317.pdf/2557b526-d9c0-4e8b-a46e-3d2a591ce501
- Lawniczak, L., & Marecik, R. (2019). Comparison of metalworking fluids biodegradation efficiency by autochthonous and environmental communities. *Journal of Environmental Management*, 232(November 2018), 625–635. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.132>
- Lazarevi , V. B., Krsti , I. M., Lazi , M. L., Savi , D. S., Skala, D. U., & Veljkovi , V. B. (2013). Scaling up the chemical treatment of spent oil-in-water emulsions from a non-ferrous metal-processing plant. *Hemijaska Industrija*, 67(1), 59–68. <https://doi.org/10.2298/HEMIND120317055L>
- Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 40(2), 10–17. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Manrique, T., & Anderson, J. (2019). Análisis comparativo de la disminución de sólidos suspendidos utilizando Opuntia ficus-indica y cloruro férrico en la aguas del río Lurín [Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. In *Repositorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur* (Vol. 1). <http://repositorio.untels.edu.pe/handle/UNTELS/375>
- Martínez, M. (2014). Formación y caracterización de emulsiones altamente concentradas de betún en agua [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona]. In *Dipòsit digital de la Universitat de Barcelona*. <http://hdl.handle.net/2445/58163>
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Remoción de Cromo y Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(3), 331–340. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i3.117>
- Melo, O. O., López, L. A., & Melo, S. E. (2020). *Diseño de Experimentos Métodos y Aplicaciones* (2nd ed.). Universidad Nacional de Colombia. http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Estadistica/Diseno_de_Experimentos/DisenodeExperimentos.pdf
- Menéndez, C., & Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(3), 97–107. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>
- Ñaupas, H., Paitán, M., Valdivia, J., & Palacios, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5th ed.). Ediciones de la U.

- Padilla, D. (2011). Validación de un fluido de corte para máquinas-herramienta [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech]. In *UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. <http://hdl.handle.net/2099.1/10844>
- Pérez, R. (2009). Aplicación de microondas en el tratamiento de emulsiones del tipo agua en aceite (w/o) y aceite en agua (o/w) [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. In *RiuNet Repositorio UPV*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/4328/tesisUPV2981.pdf>
- Pinto, A. L. (2017). Evaluación y comparación de la efectividad del uso de floculantes naturales Aloe vera (Sábila) y Opuntia ficus-indica (Nopal/Tuna) y orgánicos (Ferrocryl y Chemlok 2040) en el tratamiento de aguas residuales del proceso de teñido de la empresa Franky y Ri [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. In *Biblioteca de la UCSM*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6664/42.0157.1B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, L., & Priscilla, U. (2015). Captación, evaluación, tratamiento y diseño de una planta de consumo de agua potable en la localidad Pampas de Pajonal Distrito de Mollebaya. In *Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de Coagulación - Floculación en una planta de tratamiento de agua potable* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://core.ac.uk/download/pdf/11051313.pdf>
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195. <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Sociedad pública de gestión ambiental [IHOBE]. (1999). *Taladrinas Agotadas: un residuo a reducir*. <https://www.ihobe.eus/publicaciones/taladrinas-agotadas-un-residuo-a-reducir>
- Tafur, L. K., & Quevedo, R. K. (2014). Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto de camarón [Trabajo de grado, Universidad del Tolima]. In *Repositorio institucional de la Universidad del Tolima*. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1250>
- Vahid, A., Mojtaba, F., Abbas, S., & Reza, K. (2013). Evaluation of the Metalwork Cutting Fluid Treatment performance Using Fenton Oxidation Process in Comparison with Coagulation-Flocculation. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 2(5), 90–98. https://www.researchgate.net/profile/Vahid-Aghabalaei-2/publication/341621900_Fenton/links/6054aee592851cd8ce52783f/Fenton.pdf
- Villamizar, I. A. (2008). *Evaluación de las taladrinas agotadas generadas en la industria metal-mecánica de Bucaramanga y su área metropolitana* [Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/20>

Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, H., Wu, P., Wang, M., & Zheng, H. (2021). Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment*, 765, 142795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142795>

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA DQO DE AGUAS RESIDUALES DE FLUIDOS DE CORTE DE LA INDUSTRIA METAL-MECÁNICA”																
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORES E INDICE	MÉTODO Y TÉCNICA	INSTRUMENTOS						
¿Qué efecto tiene el proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNPER S.A.C.?	Evaluar el efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.	El proceso de coagulación-floculación tiene un efecto significativo en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la metal-mecánica CUNIPER S.A.C.	Proceso de coagulación-floculación	Proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos que precipitan mediante un agente floculante (Acosta, 2006).	Se mide a través de un conjunto de factores (dosis de coagulante, dosis de floculante, velocidad de agitación rápida y lenta) que intervienen en el proceso de coagulación-floculación mediante prueba de jarras.	Dosificación del coagulante	Dosis de cloruro férrico	120 mg/L y 240 mg/L	Para la dosificación del coagulante y floculante se utilizará una jeringa milimétrica y para regular las velocidades se utilizará el equipo de Prueba de Jarras. La técnica empleada se denomina Prueba de jarras	Ficha de registro de datos Prueba de jarras Balanza analítica						
¿Cuál es la reducción de la DQO en porcentaje del proceso coagulación-floculación?	Determinar la reducción de la DQO en porcentaje del proceso coagulación-floculación.	La reducción de la DQO en porcentaje del proceso coagulación-floculación es mayor al 85%.									Dosificación del floculante	Dosis de Chemlok 2040	2 mg/L y 4 mg/L			
¿Qué factores del proceso de coagulación-floculación influyen significativamente en el porcentaje de reducción de la DQO?	Determinar los factores del proceso de coagulación-floculación influyen significativamente en la reducción de la DQO.	La dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación lenta influyen significativamente en la reducción de la DQO.												Velocidad de agitación	Velocidad de agitación rápida	100 rpm y 200 rpm
¿Cuál es el efecto del incremento de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO?	Analizar el efecto del incremento de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 en la reducción de la DQO.	El incremento de las dosis de cloruro férrico y Chemlok 2040 tienen un efecto positivo en la reducción de la DQO.														
¿Cuál es el efecto del incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO?	Analizar el efecto del incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta en la reducción de la DQO.	El incremento de las velocidades de agitación rápida y lenta tienen un efecto negativo en la reducción de la DQO.	VARIABLES DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORES E INDICE	MÉTODO Y TÉCNICA	INSTRUMENTOS						
			Reducción de la DQO	Es la disminución de la concentración del parámetro DQO, el cual mide de manera indirecta la concentración de la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable, incluyendo también compuestos inorgánicos que pueden ser degradados (oxidados) por un reactivo químico fuerte (Menéndez y Dueñas, 2018).	Se mide relacionando la diferencia de la concentración inicial y final de la DQO sobre su concentración inicial, expresado en porcentaje mediante la siguiente fórmula: $ER = (Ci - Cf) / Ci \times 100$ Donde: Ci= Concentración inicial de la DQO. Cf= Concentración final de la DQO.	Porcentaje de reducción de parámetro fisicoquímico	Porcentaje de reducción de la DQO	%	Se utiliza la fórmula matemática descrita en la definición operacional con los resultados de las concentraciones de la DQO halladas en laboratorio con la técnica titrimétrica de Reflujo cerrado, 5220 C del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA- WEF, 2017).	Ficha de registro de datos						

Anexo 2 Informe de ensayo de la caracterización de fluidos de corte de la metalmeccánica CUNIPER S.A.C.



**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56115L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N° LE - 031
CLIENTE	: ANTONY FIDEL CRISPIN MENDOZA
DIRECCIÓN	: MZ E LT:15 URB MANZANILLO ETAPA2
PRODUCTO	: Agua residual
MATRIZ	: Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS	: 14
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico, Frascos de plástico oscuro, Frascos de vidrio ámbor
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO	: 2021-05-18
LUGAR DE MUESTREO	: Carabayillo - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE	: TESIS
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2021-05-18
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2021-05-18
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2021-05-26
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-21-05127

Callao, 26 de Mayo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company


Jorge Salazar
Fecha: 27/05/2021 08:17:20 PM
C.I.P. 190282
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los items sometidos a ensayo y muestreo (si declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de ello).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
* "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
* "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com





BUREAU
VERITAS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56115L/21-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	CA-FCA
Fecha de Muestreo	2021-05-18
Hora de Muestreo	09:00
Código de Laboratorio	05073 00001
Matriz	ARI

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Cloruro Total	mg/L	0.002	0.001	0.006
Cromo Hexavalente (VI)	mg/L CrVI	0.010	0.008	<0.010
Sulfuro	mg/L S-2	0.002	0.001	<0.002
Sulfato	mg/L SO4-2	0.5	0.3	1.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	2 758.0
pH (°)	Unidad de pH	-	-	6.0
Temperatura (°)	°C	-	-	22
Turbidez	UNT	0.1	0.07	4 360.0
Materia Extricable en Hexano: Aceites y Grasas	mg/L	0.9	0.5	493.1
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	3.0	1.3	678.0
Nitrógeno Amomiacal	mg/L N-NH3	0.015	0.008	<0.015
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	7 657.0
Sólidos Sedimentables	mL/1h	0.2	0.1	<0.2

Metales Totales ICP-MS

Elemento	Unidad	L.C.	L.D.	Resultado
B (Tot)	mg/L	0.0012	0.0006	0.9671
Al (Tot)	mg/L	0.0019	0.0010	0.3047
Cr (Tot)	mg/L	0.0006	0.0002	0.0158
Mn (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	0.6263
Ni (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0310
Cu (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	0.3544
Zn (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	1.1114
As (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0006
Cd (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0000
Hg (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	0.0003
Pb (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.1923





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56115L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Cianuro Total	ASTM D 7511, 2017, Standard Test Method for Total Cyanide by Segmented Flow Injection Analysis, In-Line Ultraviolet Digestion and Amperometric Detection.
Cromo Hexavalente (VI)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500 Cr-B, 23rd Ed. 2017, Chromium, Colorimetric Method
Sulfuro	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S-2 D, 23rd Ed. 2017, Sulfide, Methylene Blue Method.
Sulfato	EPA Method 375.4 1999 Sulfate (Turbidimetric)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
(*) pH	EPA Method 150.1 1999 pH (Electrometric), Approved for NPDES (Editorial Revision)
(*) Temperatura	EPA Method 170.1 1999, Temperature (Thermometric) Approved for NPDES (issued 1974).
Turbidez	EPA Method 180.1 1999 Turbidity, Nephelometric
Materia Extractable en Hexano; Aceites y Grasas	EPA 1664 Rev. B, February, 2010, N-Hexane Extractable Material (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM, Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017 Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Nitrógeno Amoniacal	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3-D, 23rd Ed. 2017, Nitrogen (Ammonia), Ammonia-Selective Electrode Method.
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017, Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Titrimetric Method.
Sólidos Sedimentables	EPA Method 160.5 1999 Setttable Matter (Volumetric, Imhoff Cone)
METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP MS: Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, Se, Ag, Tl, Th, U, V, Zn. METALES TOTALES Y DISUELTOS VALIDADOS: B, P, Sr, U, Bi, Na, Ca, Ti, Sn, Cs, Mg, Fe, K.	EPA Method 300.0, Revision 5 4 1998 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARI	Agua residual industrial

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA.



Anexo 3 Informe de ensayo de los resultados de las 32 pruebas experimentales (16 tratamientos con 2 réplicas) respecto a la DQO



**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 8

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56116L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N° LE - 031
CLIENTE	: ANTONY FIDEL CRISPIN MENDOZA
DIRECCIÓN	: MZ E LT:15 URB MANZANILLO ETAPA2
PRODUCTO	: Agua residual
MATRIZ	: Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS	: 33
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO	: 2021-05-19
LUGAR DE MUESTREO	: Bellavista - Callao - Callao
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Tesis
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2021-05-19
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2021-05-19
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2021-05-26
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-21-05096

Callao, 26 de Mayo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company


Teresita Durruti Lopez Salazar
ANITA TERESITA DURRUTI LOPEZ SALAZAR
Fecha: 27/05/2021 08:17:25 PM
C.I.P. 190397
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se obtuvieron solamente con los bienes sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a terceros en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
" < " menor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
" > " mayor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de validez dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com





BUREAU
VERITAS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 4

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56116L/21-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	T0-R0	T1-R1	T1-R2	T2-R1	T2-R2	T3-R1	
Fecha de Muestreo	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	
Hora de Muestreo	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	
Código de Laboratorio	05374	05374	05374	05374	05374	05374	
Matriz	00001	00002	00003	00004	00005	00006	
Ensayo	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	
Unidad							
L.C.	2.0						
L.D.	1.0						
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	6 210.0	377.9	532.8	497.4	579.7	431.4

Estación de Muestreo	T3-R2	T4-R1	T4-R2	T5-R1	T5-R2	T6-R1	
Fecha de Muestreo	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	
Hora de Muestreo	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	
Código de Laboratorio	05374	05374	05374	05374	05374	05374	
Matriz	00007	00008	00009	00010	00011	00012	
Ensayo	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	
Unidad							
L.C.	2.0						
L.D.	1.0						
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	463.4	449.2	409.7	527.0	532.4	588.7

Estación de Muestreo	T6-R2	T7-R1	T7-R2	T8-R1	T8-R2	T9-R1	
Fecha de Muestreo	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	
Hora de Muestreo	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	
Código de Laboratorio	05374	05374	05374	05374	05374	05374	
Matriz	00013	00014	00015	00016	00017	00018	
Ensayo	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	
Unidad							
L.C.	2.0						
L.D.	1.0						
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	367.8	427.4	442.8	703.8	602.2	517.2

Estación de Muestreo	T9-R2	T10-R1	T10-R2	T11-R1	T11-R2	T12-R1	
Fecha de Muestreo	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	
Hora de Muestreo	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	
Código de Laboratorio	05374	05374	05374	05374	05374	05374	
Matriz	00019	00020	00021	00022	00023	00024	
Ensayo	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	
Unidad							
L.C.	2.0						
L.D.	1.0						
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	344.8	382.6	602.0	410.6	442.8	596.7

Estación de Muestreo	T12-R2	T13-R1	T13-R2	T14-R1	T14-R2	T15-R1	
Fecha de Muestreo	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19	
Hora de Muestreo	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	
Código de Laboratorio	05374	05374	05374	05374	05374	05374	
Matriz	00025	00026	00027	00028	00029	00030	
Ensayo	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	ARI	
Unidad							
L.C.	2.0						
L.D.	1.0						
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	442.8	344.2	272.6	348.4	530.9	323.0





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 4

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56116L/21-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

				T15-R2	T16-R1	T16-R2
Estación de Muestreo						
Fecha de Muestreo				2021-05-19	2021-05-19	2021-05-19
Hora de Muestreo				17:00	17:00	17:00
Código de Laboratorio				05374	05374	05374
Matríz				ARI	ARI	ARI
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.			
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	428.7	371.5	428.7



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 4 / 4

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56116L/21-MA

METODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Química de Oxígeno	SMWW-APHA-AWWA-WEP Part 5220 C. 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Titrimetric Method.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARI	Agua residual industrial

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionados por el cliente.

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.



**BUREAU
VERITAS**



Anexo 4 Fichas de registro de datos de la prueba de jarras

A: Cloruro férrico (mg/L)	B: Chemlok 2040 (mg/L)	C: Velocidad de agitación rápida	D: Velocidad de agitación lenta	Tratamientos	Réplicas	DQO (mg/L)	Reducción DQO (%)
0	0	0	0	T0	T0-R0		
120	2	100	20	T1	T1-R1		
					T1-R2		
120	2	100	50	T2	T2-R1		
					T2-R2		
120	2	200	20	T3	T3-R1		
					T3-R2		
120	2	200	50	T4	T4-R1		
					T4-R2		
120	4	100	20	T5	T5-R1		
					T5-R2		
120	4	100	50	T6	T6-R1		
					T6-R2		
120	4	200	20	T7	T7-R1		
					T7-R2		
120	4	200	50	T8	T8-R1		
					T8-R2		
240	2	100	20	T9	T9-R1		
					T9-R2		
240	2	100	50	T10	T10-R1		
					T10-R2		
240	2	200	20	T11	T11-R1		
					T11-R2		
240	2	200	50	T12	T12-R1		
					T12-R2		
240	4	100	20	T13	T13-R1		
					T13-R2		
240	4	100	50	T14	T14-R1		
					T14-R2		
240	4	200	20	T15	T15-R1		
					T15-R2		
240	4	200	50	T16	T16-R1		
					T16-R2		

Anexo 5 Ficha técnica del cloruro férrico



TECNOFLOC 2261

COAGULANTE INORGANICO

- ✓ Coagulante de alta performance, aprobado para ser aplicado en agua potable.
- ✓ Excelente rendimiento en aguas residuales.
- ✓ Alta eficiencia en remoción de orgánicos y metales pesados
- ✓ Actúa en un amplio rango de pH y de temperatura
- ✓ Compatible con los tratamientos biológicos
- ✓ Rápida velocidad de coagulación
- ✓ Volumen menor de lodos y mayor compactación de los mismos
- ✓ Alto rendimiento en eliminación de sólidos en suspensión, DQO y DBO₅

Usos principales

Tecnofloc 2261 ha sido especialmente formulado para clarificación de agua potable, residual municipal y residual industrial. Excelente performance en aguas de bombeo de la industria pesquera, aguas residuales de plantas de beneficio de aves, carnicerías, etc. Es usado como acondicionador de lodos en el proceso de deshidratación.

Descripción General

Tecnofloc 2261 es una solución de color marrón oscuro de carga catiónica con las siguientes características:

Forma:	Líquido
Color:	Marrón oscuro
Olor:	Inodoro
Densidad:	1418 a 1485 g/ml

Dosis

La dosis de **Tecnofloc 2261** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. El Representante Técnico de TECNOCHEM le asesorará en el establecimiento de la dosis más adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

Tecnofloc 2261 debe alimentarse de una manera continua al proceso, cualquiera que sea su aplicación, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de plástico o cualquier otro material resistente al ácido. El producto es totalmente soluble en agua, por lo tanto, su preparación es muy sencilla.

Despacho y Almacenamiento

Tecnofloc 2261 se despacha en cilindros de 270 Kg y a granel. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Tiempo de vida útil 12 meses a partir de la fecha de fabricación.

Manejo y Seguridad

Tecnofloc 2261 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico evite el contacto con la piel y ojos. No ingerir. En caso de contacto con ojos y piel y ropa, lavarse con mucha agua. Si se presenta irritación de ojos, acudir inmediatamente al médico.

La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición de producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto, la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto o sus envases. La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.

Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material.

FI 09-2020. Revisión 1

Anexo 6 Ficha técnica del floculante aniónico Chemlok 2040



TECNOFLOC 2040

FLOCULANTE ANIÓNICO CHEMLOK 2040

- Aplicable a diversos procesos industriales como el azucarero y el papelero.
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.
- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos e inorgánicos.
- Trabaja en un rango amplio de PH de 1 a 12.
- Fácilmente soluble en aguas.
- Excelente relación costo rendimiento. Trabaja a dosis bajas.

Usos principales

Tecnofloc 2040 ha sido especialmente formulado para deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales. **TECNOFLOC 2040** tiene excelente aplicación en los procesos azucareros (clarificación de jugo) y papeleros. **TECNOFLOC 2040** cumple con la normativa FDA título 21 CFR 173.10

Descripción General

Tecnofloc 2040 es un polímero floculante sólido de muy alto peso molecular, altamente aniónico con las siguientes características:

Forma:	Sólido granular
Color:	Blanco a beige
Olor:	Inodoro
Densidad:	600 a 800 Kg/m³
Solubilidad:	Máximo 0.5% en agua
Viscosidad UL:	6.50-7.50 cps

Dosis

La dosis de **Tecnofloc 2040** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. El Representante técnico de **TECNOCHEM** le asesorará en el establecimiento de la dosis más adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

Tecnofloc 2040 se puede alimentar de manera continua al proceso en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando una bomba dosificadora de acero dulce o cualquier otro material compatible. Para obtener el mejor rendimiento, se debe preparar el producto en soluciones de hasta 0,5% de concentración y luego alimentar al 0.1% de concentración.

El tiempo de preparación de las soluciones de **Tecnofloc 2040** es de 45 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- ✓ Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamientos.
- ✓ Agitar suavemente durante 10 a 15 minutos.
- ✓ Dejar en reposo durante 5 a 10 minutos.
- ✓ Finalmente agitar por 15-20 minutos.

Despacho y Almacenamiento

Tecnofloc 2040 se despacha en sacos de 25 Kg y 750 Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar hidratación. Tiempo de vida útil 24 meses a partir de la fecha de fabricación.

Manejo y Seguridad

Tecnofloc 2040 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico evite el contacto con la piel y ojos. No ingerir. En caso de contacto con ojos y piel y ropa, lavarse con mucha agua. Si se presenta irritación de ojos, acudir inmediatamente al médico.

La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición de producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto, la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto o sus envases. La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.

Anexo 7 Ficha técnica de hidróxido de calcio (cal apagada)



Insamex S.A.
Av. San Juan 1611 Urb. Ind. Santa Martha
Ate - Lima - Perú
Teléfono (511) 351-1937 / Fax (511) 351-3737
ventas@insamex.com.pe
www.insamex.com.pe

HOJA TÉCNICA

Código VT-R-04
Versión: 01

HIDRÓXIDO DE CALCIO Cal Apagada

Descripción: Hidróxido de Calcio se obtiene a partir de la calcinación de carbonato de calcio con una pureza mayor a **98%** y su posterior apagado, esto permite obtener un producto de alta pureza y bajo contenido en insolubles.

Aplicación: Se emplea en la industria metalúrgica, agricultura, en la fabricación de productos químicos y como fuente de calcio.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Especificaciones Físicas			
Descripción	Unidad	Mínimo	Máximo
Residuo en tamiz 400 (38µm)	%	---	0,500
Humedad	%	---	2,00

Presentación: Tipo de empaque en sacos de 25kg.



Última Revisión: Octubre 2020

Los datos presentados corresponden al promedio típico para este producto, estos datos están basados en pruebas efectuadas por Insamex S.A. pero no implican una garantía de uso para un propósito específico.

Anexo 8 Fichas técnicas de máquinas de la metalmecánica CUNIPER S.A.C.

		Ficha Técnica Maquina								
Código de GM :		DM TPM 01			Código de Costo :					
Datos del Equipo										
Máquina:		Torno Paralelo Grande			Modelo:		ML-1960		Serie:	
Fabricante:		Mighty Turn			Año de Fabricación:					
Peso Total:		3 tn	Dimensiones: X(largo) =		3 m	Y(ancho) =	1m	Z(alto) =	1.28 m	
Trabajo										
Crítico		<input type="checkbox"/>	Turno		<input checked="" type="checkbox"/>	Esporádico		<input type="checkbox"/>	Intermetente	<input type="checkbox"/>
Sistemas										
1. Eléctrico	<input checked="" type="checkbox"/>	Voltaje (V):		220	Corriente (A):		Alterna	Frecuencia(Hz):		60
2. Hidráulico	<input type="checkbox"/>	Tipo:								
3. Refrigeración	<input type="checkbox"/>	Tipo:								
4. Lubricación	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo:		Mecánica						
5. Neumático	<input type="checkbox"/>	Tipo:								
Motores eléctricos										
Nro	Función	KW	Volt	Amp	RPM	Hz	Marca	Modelo		
1	Principal cabezal	7.5	220	12	1800	60	Italiano	IP14		
Fotografía de la Máquina										
										

		Ficha Técnica Máquina								
Código de GM:		DM-TPP-01			Código de Costo :					
Datos del Equipo										
Máquina:		Torno Paralelo			Modelo:		T8		Serie:	
Fabricante:		PINACHO			Año de Fabricación:					
Peso Total:		0.5 tn	Dimensiones: X(largo) = 1.64 m Y(ancho) = 0.6 m Z(alto) = 1.03 m							
Trabajo										
Crítico		<input type="checkbox"/>	Turno		<input checked="" type="checkbox"/>	Esporádico		<input type="checkbox"/>	Intermetente	<input type="checkbox"/>
Sistemas										
1. Eléctrico	<input checked="" type="checkbox"/>	Voltaje (V):		220	Corriente (A):		Alterna	Frecuencia(Hz):		60
2. Hidráulico	<input type="checkbox"/>	Tipo:								
3. Refrigeración	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo:		Bomba eléctrica						
4. Lubricación	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo:		Salpicadura interna						
5. Neumático	<input type="checkbox"/>	Tipo:								
Motores eléctricos										
Nro	Función		KW	Volt	Amp	RPM	Hz	Marca	Modelo	
1	Principal cabezal		3.5	220	5	1800	60	USA	IP14	
2	Sistema de bombeo		3/4 hp	220	0.5	1800	60	Español	IP14	
Fotografía de la Máquina										
										

		Ficha Técnica de Máquina						
Código de GM: DM-TRW-01		Código de Costo :						
Datos del Equipo								
Máquina:	Torno Revolver	Modelo:	M-1200	Serie:	783988			
Fabricante:	WARNER & SAWEY	Año de Fabricación:						
Peso Total:	0.5 tn	Dimensiones: X(largo) = 2.2 m		Y(ancho) = 1.05m		Z(alto) = 1.24 m		
Trabajo								
Crítico	<input type="checkbox"/>	Turno	<input checked="" type="checkbox"/>	Esporádico	<input type="checkbox"/>	Intermetente	<input type="checkbox"/>	
Sistemas								
1. Eléctrico	<input type="checkbox"/>	Voltaje (V):		Corriente (A):		Frecuencia(Hz):		
2. Hidráulico	<input type="checkbox"/>	Tipo:						
3. Refrigeración	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo:	Bomba mecánica					
4. Lubricación	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo:	Bomba mecánica					
5. Neumático	<input type="checkbox"/>	Tipo:						
Motores eléctricos								
Nro	Función	KW	Volt	Amp	RPM	Hz	Marca	Modelo
1	Principal cabezal	7.5	220	12	1800	60	Italiano	IPJ4
Fotografía de la Máquina								
								



Ficha Técnica de Máquina

Código de GM: **DM-TRX-01** Código de Costo :

Datos del Equipo

Máquina: **Torno Revolver** Modelo: **N72-A** Serie: **1347-X**
Fabricante: **XERVITT** Año de Fabricación: **1975**
Peso Total: **0.5 tn** Dimensiones: X(largo) = **2 m** Y(ancho) = **0.5 m** Z(alto) = **1.2 m**

Trabajo

Crítico Turno Esporádico Intermetente

Sistemas

1. Eléctrico Voltaje (V): **220** Corriente (A): **Alterna** Frecuencia(Hz): **60**
2. Hidráulico Tipo:
3. Refrigeración Tipo: **Bomba de piñones 3/4 hp eléctrico**
4. Lubricación Tipo: **Salpique interno**
5. Neumático Tipo:

Motores eléctricos

Nro	Función	KW	Volt	Amp	RPM	Hz	Marca	Modelo
1	Principal del cabezal	3.5	220	5.5	1800	60	Brasil	IPJ4
2	Bomba	0.18	220	0.4	1800	60	Italiana	IPJ4

Fotografía de la Máquina



Anexo 9 Criterios especiales para la aceptación y conservación de muestras (agua)

		CADENA DE CUSTODIA - MONITOREO DE AGUA			Código: F-OMA-051 Versión: 10 Fecha: 17/08/2020	
CRITERIOS ESPECIALES PARA LA ACEPTACIÓN Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS (AGUA)						
Nº	Parámetro	Tipo de Envase	Volumen mínimo (mL)	Volumen de envase a usar (mL)	Preservación	Tiempo máximo de conservación
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS						
1	Acúenos & Grasas y/o Materiales Extraíbles por Hexano (MEH) - Gravimétrico	G (Jarra)	1000	1000	Añadir HCl 6 H ₂ SO ₄ a pH = 2 y Refrigerar (+ 8°C)	28 días
2	Acúenos & Grasas (análisis por infrarrojo IR)	G (Jarra) (Boca ancha con tapa rosca de PTFE)	250	250	Filtrar bien el envase hasta robaro y mirar hasta ver la zona rosca, debe existir un espacio de aire mínimo. Añadir HCl o H ₂ SO ₄ a pH = 2 y Refrigerar (+ 4°C)	28 días
3	Acidez	P	100	120	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	24 horas
4	Alcalinidad (CO ₃ /Carbonato/ HCO ₃ (Sicarbónato) y OH (hidroxilo))	P	200	250	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	24 horas
5	Amoníaco/Amoníaco (Nitrógeno Amoníaco)	P	500	500	Añadir H ₂ SO ₄ a pH = 2 y Refrigerar (+ 8°C)	28 días
6	Cloruro Total	PO	500	500	Añadir NaOH 1 M hasta pH de 12 a 12.5, refrigerar (+ 8°C). Usar papel de acetato de plomo para detectar la presencia del ión sulfuro	14 días o 24 horas si hay presencia de sulfuros
7	Cloruro WAD	Vidro Amber con tapa de PTFE	500	500	Añadir NaOH 10N hasta pH de 11 a 12 Refrigerar (+ 8°C). Usar papel de acetato de plomo para detectar la presencia del ión sulfuro.	
8	Cloruro Libre	PO	500	500	Añadir 5 ml. de NaOH 0.1 M hasta alcanzar un pH de 11. Refrigerar (+ 8°C). Usar papel de acetato de plomo para detectar la presencia del ión sulfuro.	
9	Cloruros	P	250	250	No requiere	28 días
10	Color Verdadero	G (Jarra) PO	250	250	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	24 horas
11	Conductividad	P	250	250	Analizar inmediatamente	24 horas
					Si excede las 24 horas de recolección, filtrar a través de una membrana 0.45 um Refrigerar (+ 8°C)	28 días
12	Cromo hexavalente disuelto	P	250	250	Filtrar la muestra através de un filtro de 0.45 um, ajustar el pH entre 0.3 - 0.7 con 2.5 ml. de solución buffer de sulfato de amonio y 1.5 ml. de NaOH 1N, mantener el pH adicionando NaOH 1N dentro de las 24 horas. Refrigerar (+ 8°C)	28 días
13	Cromo hexavalente total	P	250	250	Ajustar el pH a 9 de la muestra se filtrar con 2.5 ml de solución buffer de sulfato de amonio y 1.5 ml. de NaOH 1N, mantener el pH adicionando NaOH 1N dentro de las 24 horas. Refrigerar (+ 8°C)	28 días
14	Clorofila A	G (Jarra) PO	1000	1000	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C) en oscuridad.	48 horas
15	ODG ₂₀ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	P	1000	1000	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C). Llenar el envase hasta rebosa, sin burbujas de aire.	24 horas
16	ODG (Demanda Química de Oxígeno)	P	100	120	Añadir H ₂ SO ₄ concentrado hasta pH = 2 y Refrigerar (+ 8°C)	28 días
17	Dureza Total (Dureza Cálcica)	P	250	250	Añadir HNO ₃ a pH = 2 y Refrigerar (+ 8°C)	6 meses
18	Ferrosa	P	1000	1000	Añadir 10 ml. solución CuSO ₄ y Acidificar hasta pH = 4 con H ₂ PO ₄ (1N). Refrigerar (+ 4°C)	24 horas
19	Fluoruro	P	250	250	No requiere	28 días
20	Fosfato	P	200	250	Si preservación/ Refrigerar (+ 4°C)	48 horas
21	Fosforo Total	P	200	250	Añadir 0.5 ml. de H ₂ SO ₄ concentrado Refrigerar (+ 4°C)	28 días
22	Fosforo soluble	P	200	250	Añadir 0.5 ml. de H ₂ SO ₄ concentrado Refrigerar (+ 4°C)	28 días
23	Nitrógeno Nitrato/Nitrato	P	100	120	Si preservación/ Refrigerar (+ 4°C)	24 horas
					Añadir 0.3 ml. H ₂ SO ₄ concentrado/ Refrigerar (+ 4°C)	28 días
24	Nitrógeno Nitrato/Nitrato	P	250	250	Si preservación/ Refrigerar (+ 4°C)	48 horas
25	Nitrógeno Kjeldahl	P	500	500	Añadir 2 ml. de H ₂ SO ₄ Refrigerar (+ 4°C)	28 días
26	Nitrógeno Total	P	250	250	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	28 días
27	Olor / Sabor	G (Jarra)	500	500	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	24 horas
28	Oxígeno Disuelto (y libre)	Botella y esteril	500	500	Reservar con 2 ml. de solución de sulfato de manganeso y 2 ml. de solución estéril de yoduro-ácido Taper y mezclar invirtiendo el frasco. La muestra debe mantenerse en oscuridad a una temperatura de 10 a 20 °C. Llenar el envase hasta rebosa, sin burbujas de aire.	8 horas
	pH	P	100	120	Analizar inmediatamente	0.25 horas
29	SABM (Detergentes Aniónicos)	P	500	500	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	48 horas
30	Silicatos Silice	P	100	120	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	28 días
31	Sólidos Sedimentables	P	1000	1000	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	60 horas
32	Sólidos Totales (TS)	P	500	500	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	7 días
33	Sólidos Totales Disueltos (TDS)	P	500	500	Si preservación/ Refrigerar (+ 4°C)	7 días
34	Sólidos Totales Suspensos (TSS)	P	1000	1000	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	7 días
35	Sólidos Volátiles Sólidos Fijos	P	500	500	Si preservación/ Refrigerar (+ 8°C)	7 días
36	Sulfatos	P	500	500	Si preservación/ Refrigerar (+ 4°C)	28 días
38	Sulfuros H ₂ S detectable	P	250	250	Añadir 0.5 ml. de solución de acetato de zinc 2M, añadir NaOH hasta pH = 9 Refrigerar (+ 4°C)	14 días
37	Turbidez	P	100	120	Si preservación/ Refrigerar (+ 4°C)	48 horas
39	Temperatura	P	100	120	Analizar inmediatamente	0.25 horas
39	Tenacidad	G	240	250	Analizar inmediatamente	0 meses
ANÁLISIS INSTRUMENTAL (DETERMINACIÓN DE METALES)						
40	Metales Totales (ICP-MS)	P	250	250	Añadir HNO ₃ (1:1) hasta pH = 2 y refrigerar (+ 8°C)	6 meses (por a Hg 28 días)
41	Metales Disueltos (ICP-MS)	P	250	250	Filtrar de inmediato através de un filtro de membrana de 0.45 um, añadir HNO ₃ (1:1) hasta pH = 2, refrigerar (+ 8°C)	6 meses (para Hg 28 días)
					Si filtrar (no debe preservarse)	

Nota: 20 gotas equivalen aproximadamente a 1 mL.

Para preservar es necesario 7 ml. de preservante por 500 ml. de muestra, según requiera mayor cantidad dependiendo de la naturaleza de la muestra.

Los volúmenes reportados son los mínimos necesarios para el análisis de la muestra de acuerdo a la metodología aplicada.

Se debe cumplir con lo indicado en la preservación desde la toma de muestra, tener en cuenta el pH requerido en este caso.

Anexo 10 Tabla de Durbin-Watson al nivel de significación del 5%

Estadístico de Durbin-Watson - Puntos críticos de d_L y d_u al nivel de significación del 5%
 k^* corresponde al número de regresores del modelo excluido el término independiente (es decir, $k^* = k - 1$)

n	$k^* = 1$		$k^* = 2$		$k^* = 3$		$k^* = 4$		$k^* = 5$		$k^* = 6$	
	d_L	d_u	d_L	d_u	d_L	d_u	d_L	d_u	d_L	d_u	d_L	d_u
6	0.610	1.400										
7	0.700	1.356	0.467	1.896								
8	0.763	1.332	0.559	1.777	0.368	2.287						
9	0.824	1.320	0.629	1.699	0.455	2.128	0.296	2.588				
10	0.879	1.320	0.697	1.641	0.525	2.016	0.376	2.414	0.243	2.822		
11	0.927	1.324	0.658	1.604	0.595	1.928	0.444	2.283	0.316	2.645	0.203	3.005
12	0.971	1.331	0.812	1.579	0.658	1.864	0.512	2.177	0.379	2.506	0.268	2.832
13	1.010	1.340	0.861	1.562	0.715	1.816	0.574	2.094	0.445	2.390	0.328	2.692
14	1.045	1.350	0.905	1.551	0.767	1.779	0.632	2.030	0.505	2.296	0.389	2.572
15	1.077	1.361	0.946	1.543	0.814	1.750	0.685	1.977	0.562	2.220	0.447	2.472
16	1.106	1.371	0.982	1.539	0.857	1.728	0.734	1.935	0.615	2.157	0.502	2.388
17	1.133	1.381	1.015	1.536	0.897	1.710	0.779	1.900	0.664	2.104	0.554	2.318
18	1.158	1.391	1.046	1.535	0.933	1.696	0.820	1.872	0.710	2.060	0.603	2.257
19	1.180	1.401	1.074	1.536	0.967	1.685	0.859	1.848	0.752	2.023	0.649	2.206
20	1.201	1.411	1.100	1.537	0.998	1.676	0.894	1.828	0.792	1.991	0.692	2.162
21	1.221	1.420	1.125	1.538	1.026	1.669	0.927	1.812	0.829	1.964	0.732	2.124
22	1.239	1.429	1.147	1.541	1.053	1.664	0.958	1.797	0.863	1.940	0.769	2.090
23	1.257	1.437	1.168	1.543	1.078	1.660	0.986	1.785	0.895	1.920	0.804	2.061
24	1.273	1.446	1.188	1.546	1.101	1.656	1.013	1.775	0.925	1.902	0.837	2.035
25	1.288	1.454	1.206	1.550	1.123	1.654	1.038	1.767	0.953	1.886	0.868	2.012
26	1.302	1.461	1.224	1.553	1.143	1.652	1.062	1.759	0.979	1.873	0.897	1.992
27	1.316	1.469	1.240	1.556	1.162	1.651	1.084	1.753	1.004	1.861	0.925	1.974
28	1.328	1.476	1.255	1.560	1.181	1.650	1.104	1.747	1.028	1.850	0.951	1.958
29	1.341	1.483	1.270	1.563	1.198	1.650	1.124	1.743	1.050	1.841	0.975	1.944
30	1.352	1.489	1.284	1.567	1.214	1.650	1.143	1.739	1.071	1.833	0.998	1.931
31	1.363	1.496	1.297	1.570	1.229	1.650	1.160	1.735	1.090	1.825	1.020	1.920
32	1.373	1.502	1.309	1.574	1.244	1.650	1.177	1.732	1.109	1.819	1.041	1.909
33	1.383	1.508	1.321	1.577	1.258	1.651	1.193	1.730	1.127	1.813	1.061	1.900
34	1.393	1.514	1.333	1.580	1.271	1.652	1.208	1.728	1.144	1.808	1.080	1.891
35	1.402	1.519	1.343	1.584	1.283	1.653	1.222	1.726	1.160	1.803	1.097	1.884
36	1.411	1.525	1.354	1.587	1.295	1.654	1.236	1.724	1.175	1.799	1.114	1.877
37	1.419	1.530	1.364	1.590	1.307	1.655	1.249	1.723	1.190	1.795	1.131	1.870
38	1.427	1.535	1.373	1.594	1.318	1.656	1.261	1.722	1.204	1.792	1.146	1.864
39	1.435	1.540	1.382	1.597	1.328	1.658	1.273	1.722	1.218	1.789	1.161	1.859
40	1.442	1.544	1.391	1.600	1.338	1.659	1.285	1.721	1.230	1.786	1.175	1.854
45	1.475	1.566	1.430	1.615	1.383	1.666	1.336	1.720	1.287	1.776	1.238	1.835
50	1.503	1.585	1.462	1.628	1.421	1.674	1.378	1.721	1.335	1.771	1.291	1.822
55	1.528	1.601	1.490	1.641	1.452	1.681	1.414	1.724	1.374	1.768	1.334	1.814
60	1.549	1.616	1.514	1.652	1.480	1.689	1.444	1.727	1.408	1.767	1.372	1.808
65	1.567	1.629	1.536	1.662	1.503	1.696	1.471	1.731	1.438	1.767	1.404	1.805
70	1.583	1.641	1.554	1.672	1.525	1.703	1.494	1.735	1.464	1.768	1.433	1.802
75	1.598	1.652	1.571	1.680	1.543	1.709	1.515	1.739	1.487	1.770	1.458	1.801
80	1.611	1.662	1.586	1.688	1.560	1.715	1.534	1.743	1.507	1.772	1.480	1.801
85	1.624	1.671	1.600	1.696	1.575	1.721	1.550	1.747	1.525	1.774	1.500	1.801
90	1.635	1.679	1.612	1.703	1.589	1.726	1.566	1.751	1.542	1.776	1.518	1.801
95	1.645	1.687	1.623	1.709	1.602	1.732	1.579	1.755	1.557	1.778	1.535	1.802
100	1.654	1.694	1.634	1.715	1.613	1.736	1.592	1.758	1.571	1.780	1.550	1.803
150	1.720	1.746	1.706	1.760	1.693	1.774	1.679	1.788	1.665	1.802	1.651	1.817
200	1.758	1.778	1.748	1.789	1.738	1.799	1.728	1.810	1.718	1.820	1.707	1.831