

EVALUACION DE SINERGIA Y COMPORTAMIENTO DE FLOCULANTES Y
COAGULANTES CON DIOXIDO DE CLORO, PARA LA INDUSTRIA DE
GALVANOTECNIA.

KAMILA BASTIDAS ARMERO
NICOLAS VELASQUEZ PABON

Proyecto Integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director:

PAULA MARTINEZ GUERRERO

Ingeniero Químico

Codirector:

OSCAR LIBARDO LOMBANA CHARFUELAN

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Jurado

Firma Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora académica y de investigaciones

Dra Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector administrativo y financiero

Dr Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario general

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la universidad de américa, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIAS

En primera medida agradecer a Dios que junto con mi papá me ayudaron a diario en este proceso, que me iluminaron siempre para tomar las buenas decisiones y para aprender de las malas. Hoy siento que agradezco a ellos haberme puesto en el camino de la ingeniería química porque es donde pertenezco y donde quiero estar.

A la mayor motivación de mi vida; mi mamá que desde pequeño me enseñó el término de resiliencia y de fortaleza a través de sus acciones, que día a día se despertó a trabajar buscando un mejor futuro para mí y muchas veces sin importar como se sentía siempre siguió adelante. Este título es mío, pero nos pertenece a ambos. Por fin puedo decir que lo logre y todo fue gracias a ella así que hoy más que nunca digo con orgullo: ¡Mami lo logramos!

A mi familia entera que son un bastón de gran importancia, a todos mis primos en especial a Cami y a Aura, a todas mis tías en especial a mi segunda mamá que fue quien me enseñó el amor por los números y por quien en gran parte decidí estudiar ingeniería. A mis hermanos, pero siento que lleno de orgullo a una persona que amo que es mi hermano Johan que es mi figura paterna y de donde tengo muchos valores como persona, eres la herencia más bonita que pudo dejar mi papá en vida.

A mis amigos que son la razón por la cual creo que la gente fuera de tu familia y de tu casa te pueden querer, en especial a mi compañera de tesis, sé que no fue fácil Kami, pero lo logramos y no podría estar más feliz de haberlo hecho contigo sé que serás una gran profesional.

Hoy en día estoy finalizando esto gracias a ustedes, el sueño de ser Ingeniero Químico está cerca.

Nicolás Velásquez Pabón

En primer lugar, quiero agradecer a Dios quien me dio la fortaleza, salud y vida para llegar a este momento, que a pesar de que no fue fácil estoy culminando esta gran etapa de mi vida.

A mis mayores Apoyos en la vida mi mamá y papá quienes han estado conmigo en este largo proceso, dándome la motivación y luchando diariamente por darme lo mejor, enseñándome a través de sus acciones la importancia de ser una persona honesta, trabajadora y responsable. A mis hermanos Jhonatan y Alexis que siempre estuvieron dándome apoyo en los momentos difíciles y motivándome a salir adelante. Mi familia lo es todo para mí, por eso este triunfo no es solo para mí, sino por y para ustedes, los amo con todo mi corazón.

A las personas importantes que conocí en el camino que recorrí hasta este punto, A Robert P. quien me acompañó y me brindó su apoyo hasta el final, A Gabriela H. Quien me ayudo y logro hacer de esta etapa un buen momento, a mis amigos y demás compañeros que aportaron para construir la persona y profesional en la que me convierto. Por último, a mi compañero de tesis, que a pesar de que muchas veces perdimos la fe y motivación, hoy lo estamos culminando, gracias por ser mi amigo, por creer en mí y por ayudarme a cumplir este sueño, Felicitaciones colega.

Kamila Bastidas Armero

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
1. DEFINICIÓN	17
1.1 Resumen	17
1.2 Introducción	17
1.3 Objetivos	19
<i>1.1.1 Objetivo General</i>	<i>19</i>
<i>1.1.2 Objetivo Específico</i>	<i>19</i>
2. MARCO REFERENCIAL	20
2.1 Marco Teórico	20
<i>2.1.1. Aguas residuales industriales</i>	<i>20</i>
<i>2.1.2. Metales pesados</i>	<i>22</i>
<i>2.1.3. Proceso Galvánico</i>	<i>23</i>
<i>2.1.4. Métodos de aforo de caudales</i>	<i>26</i>
<i>2.1.5. Tipos de muestra</i>	<i>26</i>
<i>2.1.6. Técnicas de tratamiento de aguas residuales industriales</i>	<i>28</i>
<i>2.1.7. Oxidación</i>	<i>28</i>
<i>2.1.8. Dióxido de cloro</i>	<i>30</i>
<i>2.1.9. Coagulación</i>	<i>32</i>
<i>2.1.10. Floculantes</i>	<i>32</i>
2.2 Marco Legal	33
3. DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL TALLER DE ELECTROQUÍMICA DE LA BASE AÉREA	36
3.1 Generalidades	36
<i>3.1.1 Egestec</i>	<i>36</i>
<i>3.1.2 Fuerza aérea colombiana</i>	<i>37</i>
3.2 Proceso actual	39

3.2.1.	<i>Flujograma proceso actual</i>	39
3.2.2.	<i>Diagrama de flujo de procesos para el proceso actual (PFD)</i>	42
3.2.3.	<i>Parámetros: caracterización inicial del agua cruda</i>	43
3.2.4.	<i>Parámetros: Caracterización final del agua tratada</i>	44
4.	ESTABLECER REQUERIMIENTO TÉCNICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL DIÓXIDO DE CLORO COMO OXIDANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS SELECCIONADA	48
4.1	Características generales	48
4.2	Propiedades físicas del dióxido de cloro	49
4.3	Propiedades químicas	49
4.3.1.	<i>Solubilidad</i>	50
4.3.2.	<i>Potencial de oxidación</i>	50
4.3.3.	<i>Producción del dióxido de cloro</i>	51
4.4	Impacto ambiental	52
4.5	Cuidados en la manipulación del dióxido de cloro	52
4.6	Otros requerimientos.	53
5.	DESARROLLO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS CON EL DIÓXIDO DE CLORO COMO OXIDANTE	56
5.1	Caracterización inicial	56
5.1.1.	<i>Turbidez</i>	57
5.1.2.	<i>Color aparente</i>	57
5.1.3.	<i>Grasas y aceites</i>	58
5.1.4.	<i>DQO (método FAS)</i>	60
5.1.5.	<i>DBO5 (incubación)</i>	63
5.1.6.	<i>Sólidos totales</i>	65
5.2	Test de jarras	62
5.2.1.	<i>Verificar el pH</i>	71

5.2.2.	<i>Oxidación de cianuro</i>	71
5.2.3.	<i>Tiempo de sedimentación</i>	73
5.2.4.	<i>Reducción de cromo</i>	74
5.2.5.	<i>Tiempo de reacción</i>	77
5.2.6.	<i>Ajuste de pH</i>	78
5.2.7.	<i>Sedimentación</i>	80
5.2.8.	<i>Ajuste pH-Precipitación de metales</i>	80
5.2.9.	<i>Sedimentación.</i>	81
5.2.10.	<i>Ajuste de pH de 6 - 6.5</i>	82
5.2.11.	<i>Floculación Etapa 1</i>	83
5.2.12.	<i>Floculación Etapa 2</i>	84
5.2.13.	<i>Sedimentación</i>	86
5.2.14.	<i>Filtración</i>	89
5.3	Caracterización Final	90
5.3.1.	<i>Turbidez y colorimetría final</i>	90
3.2.1.	<i>DBO5</i>	91
3.2.2.	<i>DQO</i>	92
3.2.3.	<i>Grasas y aceites</i>	93
3.2.4.	<i>Solitos totales</i>	94
5.4	Análisis de metales pesados	95
6.	COMPARACIÓN DE LOS REGISTROS PREVIOS REFERENTES AL TRATAMIENTO Y LOS OBTENIDOS CON DIÓXIDO DE CLORO DE MANERA EXPERIMENTAL	98
7.	ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON DIÓXIDOS DE CLORO	101
7.1	Costos de materia prima	106
7.2	Costos servicio público	107
7.3	Costo tratamiento de lodos	108
8.	CONCLUSIONES	111

BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	114

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Reacción del Peróxido de Hidrógeno	29
Figura 2. Reacción del Cloro Residual	29
Figura 3. Reacción del Hipoclorito de Sodio	29
Figura 4. Oxidación del Dióxido de Cloro	31
Figura 5. Flujograma	40
Figura 6. Continuación Flujograma	41
Figura 7. PFD Tratamiento Actual	43
Figura 8. Colorimetría inicial	58
Figura 9. Grasas y aceites	59
Figura 10. Medición DQO	61
Figura 11. Titulación DQO	61
Figura 12. Medición con Oxímetro	64
Figura 13. Sólidos después del secado	66
Figura 14. Flujograma Tren de Separación	68
Figura 15. Continuación Flujograma	68
Figura 16 Muestra de Agua Residual Inicial	70
Figura 17 Medición de pH	71
Figura 18. Oxidación de Cianuro	72
Figura 19. Sedimentación 1ra etapa.	73
Figura 20. Sólidos Precipitados	74
Figura 21. Reducción de cromo	76
Figura 22. Sólidos en Suspensión	77

Figura 23. Solidos Precipitados Reducción de Cromo	78
Figura 24. Revisión de ajuste de pH	79
Figura 25. Muestras en Sedimentación	80
Figura 26. Medición de pH	81
Figura 27. Sedimentación de Metales Pesados	82
Figura 28. Primera Etapa de Floculación	84
Figura 29. Flocs Suspendidos	85
Figura 30. Tiempo de Sedimentación	86
Figura 31. Flocs Sedimentados en Jarras	87
Figura 32. Jarra 1	88
Figura 33. Solidos Separados	88
Figura 34. Filtro de Lechos	89
Figura 35. Lechos para el filtro	90

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 Tipo de industrias según sus vertimientos.	21
Tabla 2. Efectos de los metales pesados en la salud y el medio ambiente.	22
Tabla 3 Recubrimientos con metales	25
Tabla 4 Tipos de muestra.	26
Tabla 5 Tipos de oxidantes	29
Tabla 6 Valores de Parámetros Fisicoquímicos	33
Tabla 7. Continuación Tabla 6	34
Tabla 8 Procesos realizados en la base aérea	38
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos del Agua Cruda	44
Tabla 10. Cantidad de Metales Pesados en el Agua Tratada	45
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos del agua tratada	45
Tabla 12. Reacciones de algunas sustancias frente al dióxido de cloro	48
Tabla 13 Propiedades físicas del dióxido de cloro	49
Tabla 14 Solubilidad del dióxido de cloro en función de la presión y temperatura	50
Tabla 15 Potencial de oxidación de agentes oxidantes	51
Tabla 16 pH para reacciones	54
Tabla 17 pH de precipitación de metales	55
Tabla 18. Turbidez inicial	57
Tabla 19. Colorimetría inicial	58
Tabla 20. Valor inicial de grasas y aceites	60
Tabla 21. Volúmenes de titulación	62
Tabla 22. Parámetro DQO	63

Tabla 23. Registros DBO5	65
Tabla 24. Registros solidos totales	67
Tabla 25. Concentraciones de cada muestra.	73
Tabla 26. Volumen de ajuste de pH.	75
Tabla 27. Parámetros de reducción de metales pesados.	75
Tabla 28 Ajuste de pH Hidróxido de Sodio	79
Tabla 29. Ajuste Precipitación de metales	81
Tabla 30. Ajuste de pH de 6-6.5	82
Tabla 31. Ajuste Floculación	85
Tabla 32. Turbidez y colorimetría final	91
Tabla 33. DBO5 final	92
Tabla 34. DQO final	93
Tabla 35. Grasas y aceites final	94
Tabla 36. Solidos totales	94
Tabla 37. Análisis metales pesados	96
Tabla 38. Caracterización inicial de aguas	98
Tabla 39. Caracterización final de agua tratada	99
Tabla 40 Materia prima de tratamiento	101
Tabla 41 Diagrama de Gantt	103
Tabla 42 Tiempo de retención para la propuesta	104
Tabla 43 Tiempos de retencion para el proceso actual	105
Tabla 44. Costos Materia Prima	106
Tabla 45. Costos sistemas de filtración	107
Tabla 46. Costo Equipos de Proceso	107

Tabla 47. Costo Servicios Públicos	108
Tabla 48. Tratamiento de Lodos	108

LISTA DE ANEXOS

	Pag
Anexo 1. Reporte de resultados (Caracterización inicial)	115
Anexo 2 Caracterización agua tratada 2018	117
Anexo 3. Caracterización Inicial Agua de entrada 2019	118
Anexo 4. Caracterización de agua tratada 2019	120
Anexo 5. Caracterización inicial de agua 2022	121
Anexo 6. Cotizaciones	122
Anexo 7. Cálculos	123
Anexo 8. Escala Planta	131
Anexo 9. Caracterización del agua tratada 2022	136
Anexo 10. Ficha técnica polímero	138

1. DEFINICIÓN

1.1 Resumen

Durante el desarrollo del documento para este trabajo de grado se analiza, experimenta y evalúa la capacidad que tiene el dióxido de cloro como oxidante en un proceso de remoción de metales pesados, basado en un trabajo de grado previo en el cual se estudió la remoción de metales para el taller de electroquímica de la base aérea CAMAN. Desarrollando una caracterización inicial y final del agua residual, una experimentación por medio de un test de jarras, un análisis de costos y cálculos pertinentes para el desarrollo de todo el trabajo y así lograr la correcta evaluación del dióxido de cloro como oxidante en este proceso.

1.2 Introducción

Según estudios realizados en Colombia como [1] es frecuente encontrar reportes de metales pesados por las actividades de agricultura, minería (esta última mencionada genera mayor problema cuando se realiza de manera ilegal), y vertimientos de agua que no cumplen con la normativa legal vigente en cada sector donde se va a realizar estos vertimientos [1]. Esto afecta de forma significativa los ecosistemas donde se tiene contacto estas aguas residuales viéndose principalmente reflejado este daño no solo en la vida humana sino en la vida animal, en las plantas, fuentes hídricas y los suelos, afectando la cadena trófica natural [1]. Por tal motivo, se hace necesario realizar investigación que ayude a mitigar estos daños, generando una mejora en la calidad de las aguas residuales. Optimizar los procesos de tratamiento de aguas residuales ayuda a la mitigación de los problemas ambientales y sociales generados por esto y a su vez disminuye el impacto que sobre las empresas pueda tener el vertimiento de estos residuos.

El manejo de aguas residuales ha sido una preocupación de la fuerza aérea colombiana, particularmente debido a los residuos arrojados por el taller de electroquímica. La razón por la cual se generan estos residuos es debido a los recubrimientos electrolíticos realizados a las piezas de las aeronaves. Este vertimiento de aguas residuales resulta en un impacto en el municipio de

Madrid Cundinamarca el cual hace parte del 48,2% de los municipios que cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo el que más posee con un total de 137 de ellas [2]

En el año 2019 se realizó un proceso de investigación que busca identificar procesos adecuados para el tratamiento de aguas residuales. En esta investigación se evaluaron dos métodos de tratamiento, identificando que el más óptimo es a través del uso del peróxido de hidrógeno como oxidante. Si bien desde que se implementó el proceso a través del peróxido de hidrogeno se ha logrado cumplir con lo establecido en la resolución 631 del 2015 reglamenta el artículo 28 del decreto 3930 establecida por el Ministerio de Ambiente se hace necesario seguir indagando en métodos que sean más eficientes y logren un a mayor cantidad de remoción. de metales pesados, así como disminuyan los costos en el tratamiento de las aguas.

En los últimos años, el uso del dióxido de cloro como oxidante se viene popularizando a nivel internacional y con esto se genera una nueva alternativa que ayuda a optimizar los procesos de tratamiento de agua[3]. Estados Unidos presenta un aumento en el uso de dióxido de cloro en el tratamiento de aguas durante los últimos 20 años, así mismo en Europa países como Alemania e Italia hacen uso de esta técnica en más del 10% de las plantas de tratamiento de aguas existentes [3].

El dióxido de cloro es muy útil para el tratamiento del agua potable debido a que posee una variedad de modos de acción, principalmente se encuentra la acción microbicida y acción oxidante. La acción oxidante se presenta bajo la oxidación (Aieta y Berg, 1986), según esta oxidación el dióxido de cloro reacciona con los iones metálicos haciendo que presenten un fenómeno de precipitación removiendo estos como lodos.

Para el caso de Colombia, Egestec S.A.S. es una de las empresas es pioneras en uso del dióxido de cloro como oxidante y en el tema de los tratamientos de agua con dióxido de cloro especializando en la construcción y operación de sistemas de generación de dióxido de cloro en acueductos y la industria. Si bien Egestec está enfocado en la potabilización y desinfección de aguas residuales está interesado en conocer cuál es la posibilidad de hacer uso de sus procesos para la remoción de metales pesados en diferentes industrias.

Así pues la necesidad latente de la fuerza aérea colombiana de mejorar constantemente sus procesos frente a la remoción de metales pesados y la disposición de Egestec para aportar a estos desde nuevas alternativas, empleando el dióxido de cloro como oxidante se presentan como una oportunidad para contribuir al medio ambiente en el municipio de Cundinamarca y a la mejora de los procesos industriales evidenciando la importancia de esta planta de electroquímica al estudiar aguas residuales que contienen metales pesados.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito esta investigación busca verificar la hipótesis de que el dióxido de cloro como oxidante y su comportamiento frente a coagulantes y floculantes empleados en el tratamiento de aguas residuales provenientes del taller de electroquímica de la fuerza aérea colombiana en Madrid-Cundinamarca, aumenta la eficacia en la remoción de metales pesados y es más rentable en comparación los procesos realizados en la investigación previa[4].

1.3 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia del dióxido de cloro como oxidante y su comportamiento frente a coagulantes y floculantes empleados en el tratamiento de aguas residuales provenientes del taller de electroquímica de la fuerza aérea colombiana en Madrid-Cundinamarca.

1.1.2 Objetivo Específico

- Diagnosticar el proceso actual de tratamiento de las aguas residuales en el taller de electroquímica de la base aérea.
- Establecer los requerimientos técnicos de la implementación del dióxido de cloro como oxidante en el tratamiento de aguas seleccionada.
- Desarrollar el proceso de tratamiento de aguas con el dióxido de cloro como oxidante.
- Comparar los registros previos referentes a el tratamiento y los obtenidos con dióxido de cloro de manera experimental.
- Realizar un análisis de costos para el tratamiento de aguas residuales con dióxido de cloro.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1. *Aguas residuales industriales*

“Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua”. [5] Los vertimientos de esta agua industriales tienen factores variables como lo son su composición y caudales, haciendo que estos vertidos tengan una diferente caracterización, estas no solo van a depender del tipo de industria, sino también de la frecuencia de actividad de esta.

“Las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas del año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.” [5] Debido a que estas aguas residuales poseen características tan variables hace que el tratamiento idóneo para estas tenga mayor complejidad, requiriendo un estudio especificado para cada una.

“La gran variedad y cantidad de productos que se vierten obliga a una investigación propia para cada tipo de industria. No existe similitud alguna entre los vertidos de actividades industriales, como son: alimentación, química, petroquímica, agrícola, forestal, minerales y metalúrgicas, etc...” [5]. Para hacer una correcta caracterización de estas aguas residuales se deben tener en cuenta índices que definan el contenido en:

- Ácidos que pueden atacar el material o inhibir procesos.
- Básicos que pueden inhibir los procesos biológicos.
- Productos petrolíferos y grasas poco degradables.
- Detergentes que retardan la sedimentación, forman espumas e impiden la aireación.
- Metales pesados: Cu, Cr, As, Cd, Pb, Hg, B, etcétera, tóxicos para los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos.

- Fenoles, cianuros, inhibidores y tóxicos.
- Productos radioactivos.

2.1.1.a Clasificación de las industrias según sus vertidos. Dependiendo de los contaminantes específicos en los vertimientos de aguas, las industrias se clasifican en:

Tabla 1.

Tipo de industrias según sus vertimientos.

Tipo de industrias	Ejemplos
I. Industrias con efluentes principalmente orgánicos	Papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, lecherías y subproductos, entre otras.
II. Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos.	Refinerías y petroquímicas, coquerías, textiles, fabricación de productos químicos, entre otros.
III. Industrias con efluentes principalmente inorgánicos.	Limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas, fabricación de productos químicos, inorgánicos.
IV. Industrias con efluentes con materias en suspensión.	Lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continua
V. Industrias con efluentes de refrigeración.	Centrales térmicas, centrales nucleares.

Nota. Tabla que muestra los tipos de industrias con vertimientos de aguas residuales. Tomado de: [En línea] <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005574/cartillas/efluentesindustriales/Efluentesindustriales1.pdf>

2.1.2. Metales pesados

La industria dedicada a la limpieza y recubrimientos electrolíticos con metales pesados está clasificada como una de las industrias con una gran cantidad de efluentes principalmente inorgánicos, por lo tanto, los vertimientos ocasionados por estas contienen una gran carga de metales que generan gran impacto ambiental. Algunos de los metales más empleados en esta industria y sus efectos negativos se encuentran expuestos en la Tabla 2

Tabla 2.

Efectos de los metales pesados en la salud y el medio ambiente.

Metal pesado	Efectos sobre la salud	Efectos sobre el medio ambiente	Limite en la sangre (µg/dl)
Plomo	anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad en los órganos reproductores.	Se da principalmente por el plomo elemental dejando partículas en suspensión en el aire y generando morfologías irregulares sobre algunas plantas.	0,6
Mercurio	autismo, depresión, problemas del sistema respiratorio, circulatorio y nervioso.	Reducción de actividad microbológica sobre los suelos contaminando también los alimentos.	0,003
Cadmio	Cáncer, enfermedades vasculares, daños renales, infertilidad.	Afecta los procesos microbiológicos que se dan en los suelos y en sistemas acuáticos se acumula en alimentos marítimos.	1
Cobre	Daño en el sistema hepático y sistema digestivo, insomnio.	Disminución de las biomasas provocando rendimientos bajos en procesos bioquímicos.	25
Manganeso	Temblores, espasmos musculares, daños sistema auditivo, depresión, cambios de ánimo.	Se presentan afectaciones principalmente en suelos con un pH bajo generando alteraciones en las células	5

		vegetales de los ecosistemas existentes.	
Zinc	Pérdida de apetito, daños en el sistema digestivo, dolores de cabeza.	En mayor medida contamina las aguas subterráneas contaminado los suelos y presentando un riesgo elevado para la agricultura.	80
Arsénico	Cáncer, lesiones cutáneas, diabetes, enfermedades cardiovasculares.	Penetra el aire, suelos y aguas generando tormentas de polvos y aguas de escorrentía.	5
Cromo	Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, vómitos, carcinogénico.	Dificulta la fijación del dióxido de carbono en las plantas, causando una fotosíntesis de menor rendimiento.	5
Níquel	Bronquitis, daños sistema respiratorio, cáncer de pulmón, dermatitis.	Afecta directamente a las plantas al causar un desequilibrio de los nutrientes viéndose reflejado sobre las capacidades de la membrana celular.	20

Nota. Tabla que muestra los efectos inmediatos y a largo plazo de la presencia de metales pesados en el agua y medio ambiente. Tomado de: Biotecnología en el sector agropecuario e industrial [En línea] <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

2.1.3. *Proceso Galvánico*

La galvanotecnia es una de las principales técnicas industriales contra la corrosión, así obteniendo metales resistentes a este efecto y de alta pureza. Este procedimiento tiene como base la técnica de la electrolisis que consiste en a través de una solución acuosa que contiene sales del metal con el cual se quiere hacer el recubrimiento tiene un funcionamiento tipo ánodo que al aplicar el voltaje son atraídos por el cátodo que en este caso sería el metal con al cual se le quiere aplicar el recubrimiento contra la corrosión. El cátodo obtiene electrones, depositándose como metal puro sobre su superficie[4].

2.1.3.a Proceso de recubrimiento galvánico. Para realizar un recubrimiento óptimo se debe tener en cuenta las siguientes operaciones:

1. Limpieza inicial: Se debe realizar sobre piezas que contengan impurezas sobre su superficie, tales como grasas y polvos. Estas limpiezas se pueden realizar a través de medios mecánicos o con medios químicos.
2. Decapado: El decapado se utiliza para remover las partes oxidadas sobre la pieza en la cual se quiere hacer el recubrimiento, aplicando generalmente inmersiones sobre soluciones de ácido sulfúrico al 10%, de soda caústica o con sulfato de sodio; esta inmersión se realiza a temperaturas bajas o altas. Al utilizar este paso se favorece la adhesión natural y químico física del recubrimiento que se va a realizar.
3. Levigación: Se trata de mezclar una sustancia en polvo con una solución acuosa para así obtener una separación de más molecular más ligeras de las más pesadas, después de esta mezcla se somete la pieza a un proceso de pulido.
4. Desengrasado electrolítico: Ya después de todos los procedimientos anteriores se efectúa otro proceso de desengrase por vía química y por vía electrolítica a través de soluciones de soda caústica, carbonato de sodio y cianuro de potasio. Se debe realizar un enjuague después del proceso.
5. Neutralización: Se lleva a cabo para diferentes dos tipos de tratamientos, alcalinos y ácidos; a través de inmersiones en diferentes sustancias dependiendo del pH que se tenga, a temperatura ambiente.
6. Electrodeposición: Es un paso que se debe producir sobre la superficie que se va a usar como cátodo, poniendo el objeto sobre soluciones con un pH alcalino.
7. Inmersión:
8. Secado de pieza

Las fases el procedimiento galvánico fueron tomados de la investigación realizada en el 2019 del taller de electroquímica [4]

2.1.3.b Recubrimientos metálicos. En el proceso de recubrimiento de piezas mediante electrolisis, se utilizan diferentes metales dependiendo de la pieza a recubrir, evaluando la capacidad de cada uno de ellos. Algunos tipos de metales a utilizar en estos recubrimientos son los siguientes:

Tabla 3.

Recubrimientos con metales

Metal	Función
Plata	Este tipo de recubrimientos se emplea principalmente en la industria electrónica, pero también se utiliza como protector y revestimiento ornamental en los metales y también es usado para aplicaciones decorativas. Este recubrimiento utiliza una sal de plata (cianuro de plata) que funciona como ánodo al presentarse un efecto llamado plateado, usualmente se realiza en superficies de cobre, latón, estaño y en otras aleaciones.
Cromo	Los revestimientos de cromo duro son usados para pistones y cilindros hidráulicos, anillos de pistón, piezas de motores de aviones y moldes de plástico, donde se requieren resistencia al desgaste, abrasión por calor y / o corrosión. El cromado duro se realiza por electrodeposición a partir de una solución formada por ácido crómico y un anión catalítico.
Cobre	Los recubrimientos de cobre requieren de soluciones acuosas de sulfato de cobre (CuSO ₄) que son la fuente de los iones Cu ²⁺ , además contienen ácido sulfúrico como electrolito de soporte ⁵² . Requieren de tres tipos de baño: sulfato de ácido, pirofosfato de cobre y cianuro de cobre. Estos recubrimientos se usan en la fabricación de circuitos impresos, conectores eléctricos, placas decorativas o funcionales en automóviles, electrodomésticos, accesorios de plomería, perillas y diversos productos, además se emplea como capa base para otros recubrimientos metálicos. Las aguas residuales resultantes de los enjuagues de este proceso contienen sales metálicas solubles, como CuSO ₄ , ZnSO ₄ y NiSO ₄ .
Pavonado	Permite formar una capa de óxido negro en una superficie metálica, generalmente sobre aceros por medio de una sal que provoca la oxidación acelerada; da propiedades anticorrosivas y adherencia. El pavonado se puede realizar de diferentes maneras; electrolíticamente por oxidación anódica con una solución de agua con hiposulfito, por otro lado, químicamente por oxidación alcalina con hidróxido de sodio y nitrato sódico o potásico y mediante baño de sales.

Nota. Recubrimientos metálicos más comunes en la industria. Tomado de. [En línea] <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/ed08f680-27a5-357c-8265>

Para llevar a cabo un análisis de agua residual, inicialmente se debe tener en cuenta un protocolo para la toma de muestras, estos se pueden encontrar encuentra en el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), éste se basa en materiales necesarios para cada tipo de muestra, equipos requeridos, tipo de muestreo teniendo en cuenta el caudal de efluente, conservación de muestras y parámetros a analizar y además en las normas NTC-ISO 5667 de gestión ambiental calidad de agua dentro de la cual se contempla la NTC-ISO 5667/1 que especifica las directrices para el diseño de programas de muestreo, la NTC- ISO 5667/2 que presenta técnicas generales de muestreo, NTC-ISO 5667/3 donde se muestra la preservación y manejo de muestras y la NTC-ISO 5667/10 para muestreo de aguas residuales. [6]

2.1.4. Métodos de aforo de caudales

Para la determinación de caudal el IDEAM, establece métodos de aforo teniendo en cuenta el tipo de afluente, como lo son el método volumétrico mediante una caneca o balde y cronómetro que se emplea para canales abiertos o tubería con caída de agua; el método del vertedero que se realiza en industrias teniendo en cuenta condiciones físicas iniciales del efluente; el método de canales abiertos que se lleva a cabo en ríos, quebradas o canales; el método con flotadores; el método molinete; el método con colorantes, fluorescentes, o trazadores químicos radioactivos.

2.1.5. Tipos de muestra

Dependiendo de las propiedades del agua, caudales y constancia de las variables, las muestras de agua se pueden clasificar como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4.

Tipos de muestra.

Tipo de muestra	Características
Muestra instantánea	En esta se realiza caracterización de la muestra en el momento de recogerla, se debe realizar solo cuando el agua presenta propiedades constantes y las descargas son intermitentes.
Muestra integrada	Es aquella en la que se compone de diferentes muestras recogidas en diversos sitios del efluente en el mismo tiempo.

Muestra compuesta	Se compone de varias muestras que se recolecta en un tiempo o caudal similar, se realiza cuando el efluente no cuenta con características constantes. Estas están conformadas por muestras compuestas medida por el tiempo y muestras compuestas medidas por flujo; las primeras se caracterizan por ser aquellas en las que se realiza una muestra puntual de igual volumen, con intervalos constantes de tiempo; mientras que las muestras compuestas medidas por flujo son aquellas que se toman a intervalos constantes, pero volúmenes de muestra variables.
-------------------	---

Nota. Características de los tipos de muestra de aguas residuales. Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aerea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

2.1.5.a Tipos de muestreo. Existen dos tipos de muestreo:

- **Muestreo manual**

Este se lleva a cabo cuando se tiene acceso de manera fácil al efluente, el personal encargado debe identificar características fisicoquímicas in-situ como olor y color.

- **Muestreo automático**

Se realiza cuando no se tiene un acceso fácil a la fuente vertimiento, además de que se cuenta con un equipo de muestreo automático, haciendo que se reduzca la mano de obra humana, sin embargo, se requiere de controles continuos y constantes.

En la industria de recubrimientos metálicos, los efluentes de cada vertimiento cuentan con propiedades variables y caudales que no son constantes, por lo tanto, para un correcto análisis y evaluación de las aguas residuales se debe tener en cuenta una muestra compuesta, esta va a favorecer el estudio permitiendo realizar un análisis más acertado.

2.1.6. Técnicas de tratamiento de aguas residuales industriales

En los vertimientos de aguas industriales hay presencia de distintos contaminantes inorgánicos, como metales pesados, fenoles, sedimentos, entre otras. Para cada uno de los contaminantes presentes en los efluentes existen diversos métodos para la eliminación de los mismo, tales como [4]:

- Precipitación química
- Coagulación
- Oxidación y floculación
- Cloración alcalina
- Intercambio iónico
- Filtración de membrana
- Ultrafiltración y microfiltración
- Osmosis Inversa
- Electrodiálisis
- Electrocoagulación

2.1.7. Oxidación

La oxidación es el proceso mediante el cual un elemento cede electrones aumentando así su estado de oxidación. Esta tecnología se utiliza para sustancias que son prácticamente imposibles de eliminar del agua sin oxidación. Los productos residuales formados por la oxidación pueden luego tratarse mediante absorción, sedimentación o filtración por membrana.” [7]

Actualmente, para el tratamiento de aguas residuales se usan distintos oxidantes en la primera etapa de remoción de metales pesados, unos de los más frecuentes en esta industria se muestran en la tabla 5.

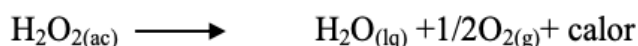
Tabla 5.

Tipos de oxidantes

Oxidantes

Peróxido de hidrogeno: El peróxido de hidrógeno, es un líquido incoloro y de sabor amargo, altamente polar e inestable, que se descompone rápidamente en una reacción que libera agua y oxígeno, además de calor, es altamente oxidante y puede llevar a cabo una reacción de combustión al contacto con materia orgánica o algunos metales.

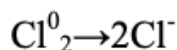
Figura 1. Reacción del Peróxido de Hidrógeno



Nota. Reacción del oxido de hidrogeno acuoso

Cloro residual: El cloro es un gas amarillo verdoso sofocante soluble en agua, corrosivo y toxico irritante para algunos órganos del cuerpo humano (ojos y tracto digestivo) se encuentra libre en la naturaleza, aunque de manera diatómica, es un oxidante enérgico.

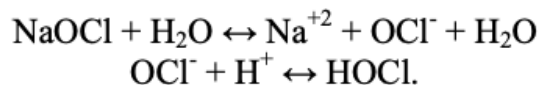
Figura 2. Reacción del Cloro Residual



Nota. Ecuación que muestra la síntesis del cloro residual

Hipoclorito de sodio: es también conocido como hipoclorito sódico o lejía cuando es diluido en agua, este compuesto químico de formula NaClO se caracteriza por ser inestable y un oxidante potente. Puede encontrarse en forma líquida o como anhidro, tiene un color penetrante y su color es verde amarillento.

Figura 3. Reacción del Hipoclorito de Sodio



Nota. Síntesis del hipoclorito de sodio con agua

Nota. Muestra las diferentes reacciones de los oxidantes más comunes. Tomado de.[en línea] <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3683>

En la industria existen distintas alternativas a los oxidantes comunes para el tratamiento de aguas residuales, uno de ellos es el dióxido de cloro, que cuenta con propiedades para la desinfección en la potabilización de agua y remoción de metales pesados en aguas industriales.

2.1.8. Dióxido de cloro

“El dióxido de cloro (ClO_2) se ha utilizado como alternativa al momento de usar un desinfectante en aguas. Una de las principales características por la cual el dióxido de cloro (ClO_2) se destaca, es su gran capacidad biocida. Comparado con el cloro y sus derivados, es más eficiente. Posee cualidades que le permiten ser selectivo, dado que mejora la calidad del agua a nivel organoléptico. Por otro lado, el dióxido de cloro (ClO_2) no permite la formación de trihalometanos (THM). Su uso en plantas de tratamiento se vuelve complejo dado a su sensibilidad al momento de producirse y a su elevado costo. “[8]

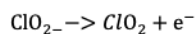
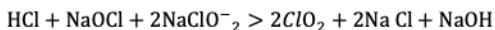
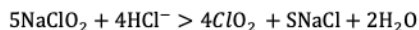
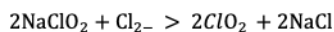
2.1.8.a Proceso de oxidación del dióxido de cloro. El dióxido de cloro (ClO_2) es un compuesto neutro del cloro con un estado de oxidación IV^+ . El poder de desinfección del dióxido de cloro (ClO_2) se da por oxidación; debido a que la molécula es altamente energética, esta reacciona violentamente si se encuentra en altas concentraciones frente a agentes reductores. [8]

En dilución, es relativamente estable, si esta se encuentra en un recipiente cerrado y retirado de la luz. La función como oxidante se debe al mecanismo de transferencia que el dióxido de cloro (ClO_2) tiene, en el cual se reduce a clorito[8].

El dióxido de cloro (ClO_2) es preparado desde el clorito de sodio o el clorato de sodio. La oxidación electroquímica del clorito de sodio forma el dióxido de cloro, como se muestra a continuación: [8]

Figura 4.

Oxidación del Dióxido de Cloro



Nota. Muestras la síntesis del dióxido de cloro. Tomado de.

Artículo de revista Evaluación del dióxido... [en línea]

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

2.1.8.b Propiedades del dióxido de cloro. Este compuesto tiene diferentes ventajas, entre ellas [8]:

- Presenta alta solubilidad en agua.
- En procesos de potabilización de agua mejora la coagulación.
- La capacidad bactericida es más elevada que el cloro, trabaja en rangos de pH entre 4 y 10.
- Comparado con la acción bactericida del cloro, en el tratamiento de esporas, el dióxido de cloro es más efectivo.
- La acción oxidante del dióxido (ClO₂) de cloro permite remover concentraciones de hierro y manganeso.
- Destruye los precursores de THM.

2.1.8.c Desventajas del Dióxido de cloro (ClO₂). El dióxido de cloro (ClO₂) es inestable, por ello debe generarse In Situ, lo que puede generar complejidad y riesgos en su manejo. Es posible que se descomponga por acción de fricción o sacudida, es explosivo si se expone a un calentamiento intenso, es por esto que debe mantenerse alejado de fuentes de calor. Igualmente, al ser transportado, se deben maximizar las medidas de seguridad dada su inestabilidad. Por otro lado, el dióxido de cloro se descompone al entrar en contacto con la radiación solar.

2.1.9. Coagulación

La coagulación es un proceso en el cual hay una desestabilización y agregación de partículas que se encuentran en suspensión coloidal en el agua, para así potenciar la decantación de las partículas disueltas y se puedan separar más fácilmente. Dicha neutralización se produce neutralizando las cargas eléctricas, para que así dejen de actuar las fuerzas de repulsión.

El objetivo de este proceso es cambiar las propiedades de los elementos insolubles en el agua, de modo que se favorezca la sedimentación. Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que denominaremos flóculos, para así separarlas más fácilmente. [5]

Algunos de los factores que influyen en el proceso son: el tipo y cantidad de coagulante, la cual se determina mediante experimentación, más exactamente mediante test de jarra, el pH del agua a tratar, ya que para cada coagulante va a haber una zona de pH en la cual se va a favorecer la floculación, otro factor es el tiempo de mezcla y floculación, ya que al no tener en cuenta estos parámetros se puede impedir la sedimentación de las materias suspendidas, entre otros.

2.1.10. Floculantes

Los floculantes son sustancias químicas que se adicionan a un proceso favoreciendo la formación de los flóculos, uniendo mecánicamente las partículas suspendidas en el agua. Este proceso está condicionado a diferentes factores que van a determinar la eficiencia de la separación que son:

- Dosis optima del polímero
- Agitación
- Peso molecular del polímero
- Concentración de solidos
- Superficie de los solidos
- Efecto de la temperatura
- Efecto del pH

Es importante conocer estos conceptos para lograr una coagulación y floculación óptima en el proceso propuesto.

2.2 Marco Legal

Según la resolución No. 0631 del 17 de marzo del 2015, establecida por el Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible. En la cual se tiene en cuenta el capítulo VI.

“Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (arnd) a cuerpos de aguas superficiales.” [9]

Artículo 13: “parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales No Domésticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con fabricación y manufactura de bienes”[9] En este artículo dan las especificaciones necesarias para el vertimiento de aguas residuales no domésticas.[6]

En la actividad de tratamiento y revestimiento de metales se incluyen: “Las actividades de enchapado, pulimento, anodizado, coloración, cromado, zincado, galvanizado (electroplateado), bicromatizado, sulfatado, pavonado, entre otros, son procesos en los que se deposita otro metal sobre una superficie metálica y mediante la aplicación de corriente eléctrica se le confieren propiedades específicas de acabado. [6]

los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites permisibles en los vertimientos puntuales para el tratamiento y revestimiento de metales, se encuentran especificados en la Tabla 6.

Tabla 6

Valores de Parámetros Fisicoquímicos

Parámetro	Unidades	Tratamiento y revestimiento de metales
Generales		
pH	Unidades de pH	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	250
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	100

Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50
Solidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2
Grasas y Aceites	mg/L	10
Fenoles	mg/L	0,2
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10
Hidrocarburos Aromáticos Policlónicos (HAP)	mg/L	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados absorbibles (AOX)	mg/L	
Compuestos de Fosforo		
Fosforo Total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitrógeno Total	mg/L	
Iones		
Cianuro Total (CN)	mg/L	0,1
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	

Nota. Valores límites establecidos para los parámetros fisicoquímicos en vertimiento de aguas no domesticas en la actividad de tratamiento y revestimiento de metales. Tomado de. RESOLUCION 0631 DE 2015 [en línea] <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>

Tabla 7.

Continuación Tabla 6

Parámetro	Unidades	Tratamiento y revestimiento de metales
Metales y Metaloides		
Aluminio (Al)	mg/L	3
Antimonio (Sb)	mg/L	
Arsénico (As)	mg/L	00,1
Bario (Ba)	mg/L	1
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05

Zinc (Zn)	mg/L	3
Cobre (Cu)	mg/L	1
Cromo (Cr)	mg/L	0,5
Estaño (Sn)	mg/L	2
Hierro (Fe)	mg/L	3
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,5
Plata (Ag)	mg/L	0,2
Plomo (Pb)	mg/L	0,2
Otros parámetros para análisis y reporte		
Acidez total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color real (medidas de absorbancia a:436nm, 525nm, 620nm)	m ⁻¹	Análisis y reporte

Nota. Valores límites establecidos para los parámetros fisicoquímicos en vertimiento de aguas no domesticas en la actividad de tratamiento. Tomado de: resolución 0631 de 2015 [en línea] <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>

3. DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL TALLER DE ELECTROQUÍMICA DE LA BASE AÉREA

3.1 Generalidades

3.1.1 Egestec

EGESTEC Es una empresa de carácter familiar fundada en el año 2007, cuya trayectoria y experiencia la han posicionado como una de los más reconocidos en la mejora y optimización de los procesos en el tratamiento de aguas en mercado nacional, así como también para algunos países de Latinoamérica.

A lo largo de estos catorce años de experiencia, EGESTEC líder en generación de Dióxido de Cloro. Ha puesto a disposición del sector su condición de especialistas y su innovación para la optimización de los procesos en el tratamiento de aguas en sus filiales e industria nacional e internacional.

La calidad y mejora continua de EGESTEC le han permitido ser proveedor de empresas tan reconocidas como Empresa de Acueducto y alcantarillo de Bogotá “EEAAB”, Acueducto del Rosal, Termoeléctrica de Sochagota “Paipa IV”, Alpina; Grupo AAA Barranquilla, “AB InBeV Bavaria S.A”, Empresas Públicas de Medellín “EPM”, Grupo GR Chía, Luisiana Farms, El Redil s.a.s “Nemocón y Cajicá”, Algarra, Colanta, El Recreo, Lácteos San Jorge, AMTEX, ENKA, Zona Franca & Uniflor para quien trabaja desde el año 2007 Generando Dióxido de Cloro, optimizando los procesos en el tratamiento de aguas que hacen parte de sus retos.

3.1.1.a Misión. Egestec, Genera de Dióxido de Cloro y optimiza los procesos en el tratamiento de aguas, con Soluciones integrales e innovadoras.

3.1.1.b Visión. Para el 2025 ser reconocida como la mejor empresa generadora de Dióxido de Cloro optimizando los procesos en el tratamiento de aguas, con Soluciones integrales e innovadoras. Proveedores en el Mercado Nacional y Aumentar Nuestra Participación en El Mercado de Latino América

3.1.2 Fuerza aérea colombiana

Contribuir a la Defensa Nacional actuando en forma disuasiva o empleando los medios en forma efectiva, a fin de proteger y garantizar de modo permanente la soberanía e independencia, la integridad territorial, la capacidad de autodeterminación, la vida y libertad de los habitantes y los recursos de la Nación frente a los riesgos y eventuales amenazas de origen externo. [10]

3.1.2.a Taller electroquímico. El taller de electroquímica de la base área CAMAN tiene como objetivo el recubrimiento de piezas de aeronaves garantizando la protección de factores externos como la corrosión, para el recubrimiento electroquímico se emplean diferentes metales, tales como, níquel, cromo, cadmio, plata y cromo duro. Los procesos realizados en este taller son los siguientes:

Tabla 8*Procesos realizados en la base aérea*

Aplicación	Descripción	Tipo de Recubrimiento
AERONAVES	<ul style="list-style-type: none"> Componentes dinámicos Trasmisiones 	BRUSH PLATING
	<ul style="list-style-type: none"> Trenes de aterrizaje Tornillería en general 	CADMIO
	<ul style="list-style-type: none"> Generadores Baterías Equipo eléctrico 	COBRE
	<ul style="list-style-type: none"> Trenes de aterrizaje Turbinas Motores opuestos 	CROMO DURO
	<ul style="list-style-type: none"> Trenes de aterrizaje Turbinas Motores opuestos 	NIQUEL
	<ul style="list-style-type: none"> Trasmisiones Helicópteros Cajas de reducción de turbinas Engranajes Piñones 	PAVONADO
	<ul style="list-style-type: none"> Tornillería expuesta a altas temperaturas Equipos eléctricos 	PLATA

Nota. Se muestran los diferentes recubrimientos para las diferentes piezas

3.2 Proceso actual

El proceso actual de tratamiento de aguas residuales provenientes del taller de electroquímica en la fuerza aérea fue un proceso en el cual se usó el peróxido de hidrogeno y el hipoclorito de sodio como oxidante del cianuro, en la primera etapa del proceso, las sustancias químicas empleadas en este proceso fueron las siguientes:

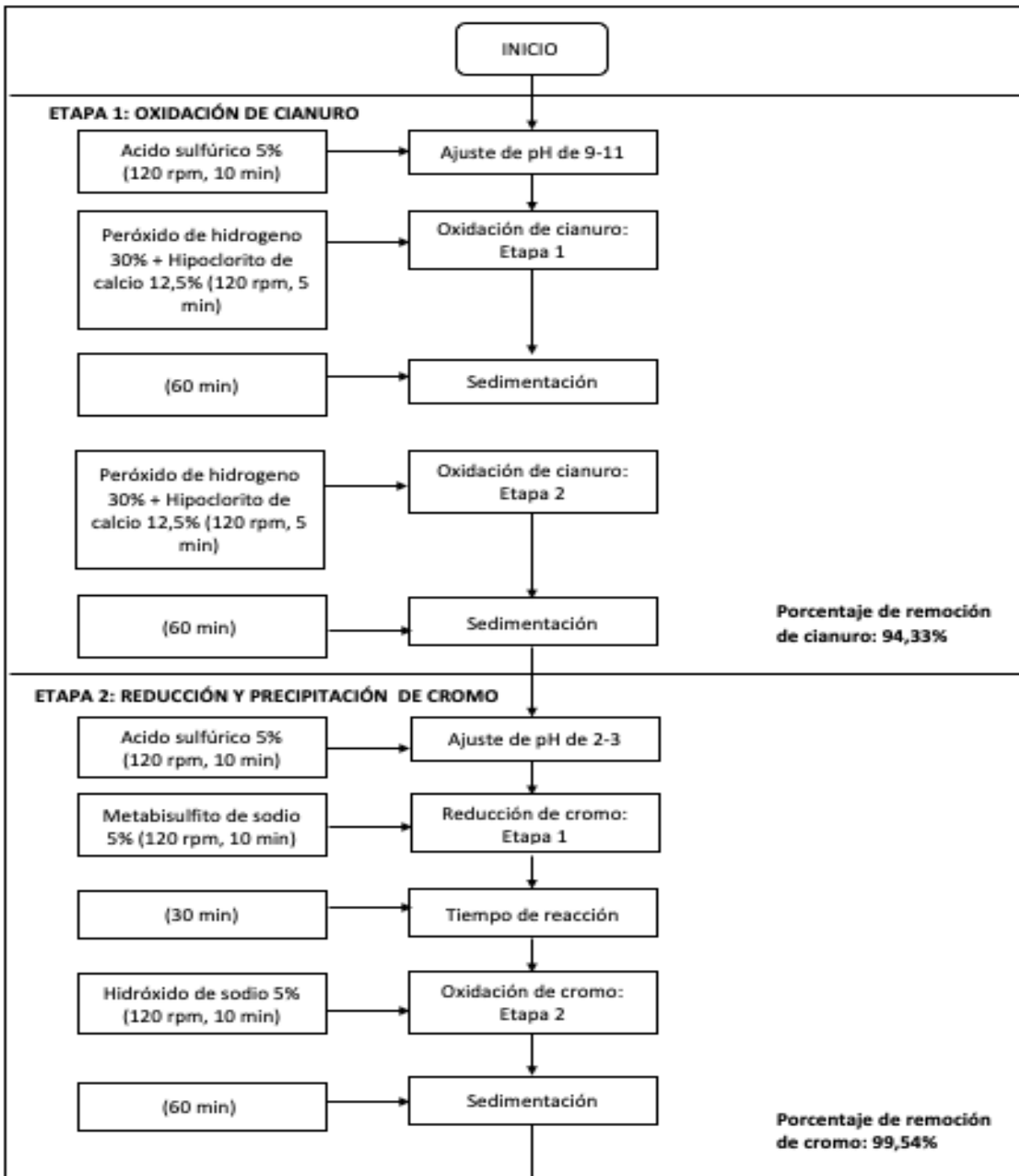
- Peróxido de hidrogeno 30% (oxidante)
- Hipoclorito de calcio 12,5% (oxidante)
- Metabisulfito de sodio al 5% (oxidante)
- polímero aniónico al 0,1% (floculante)
- Ácido sulfúrico 5% (Neutralizador)
- Hidróxido de sodio 5% (Neutralizador)

3.2.1. *Flujograma proceso actual*

En la Figura 5. se muestra de manera gráfica el tren de tratamiento actúa que se maneja en la planta de tratamiento del taller de electroquímica de la base aérea CAMAN.

Figura 5.

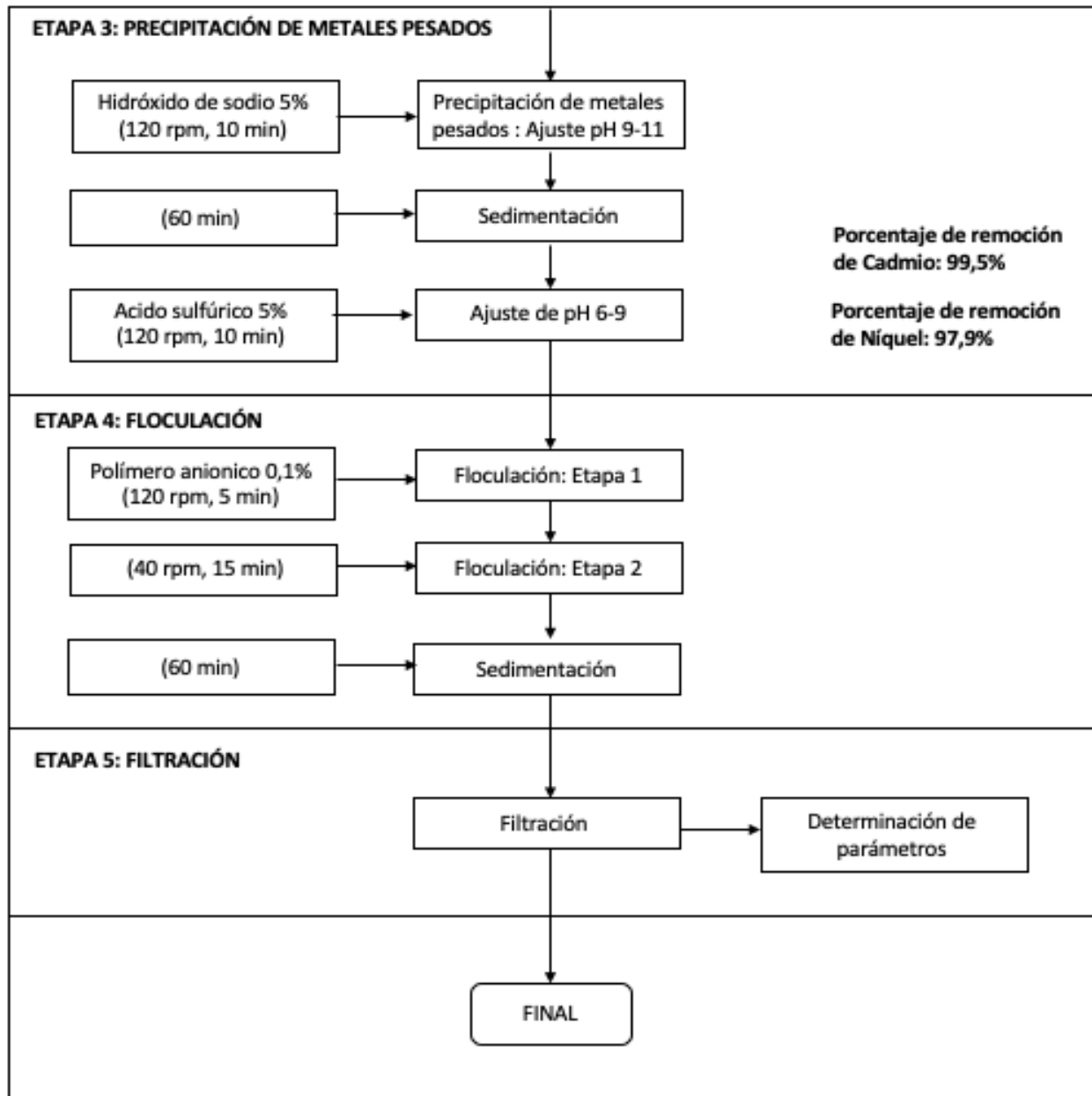
Flujograma



Nota. Primera parte del tren de separación del procedimiento actual. Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aerea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pd>

Figura 6.

Continuación Flujograma



Nota. Segunda parte del tren de separación del procedimiento actual. Tomado de. Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso del taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana madrid cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

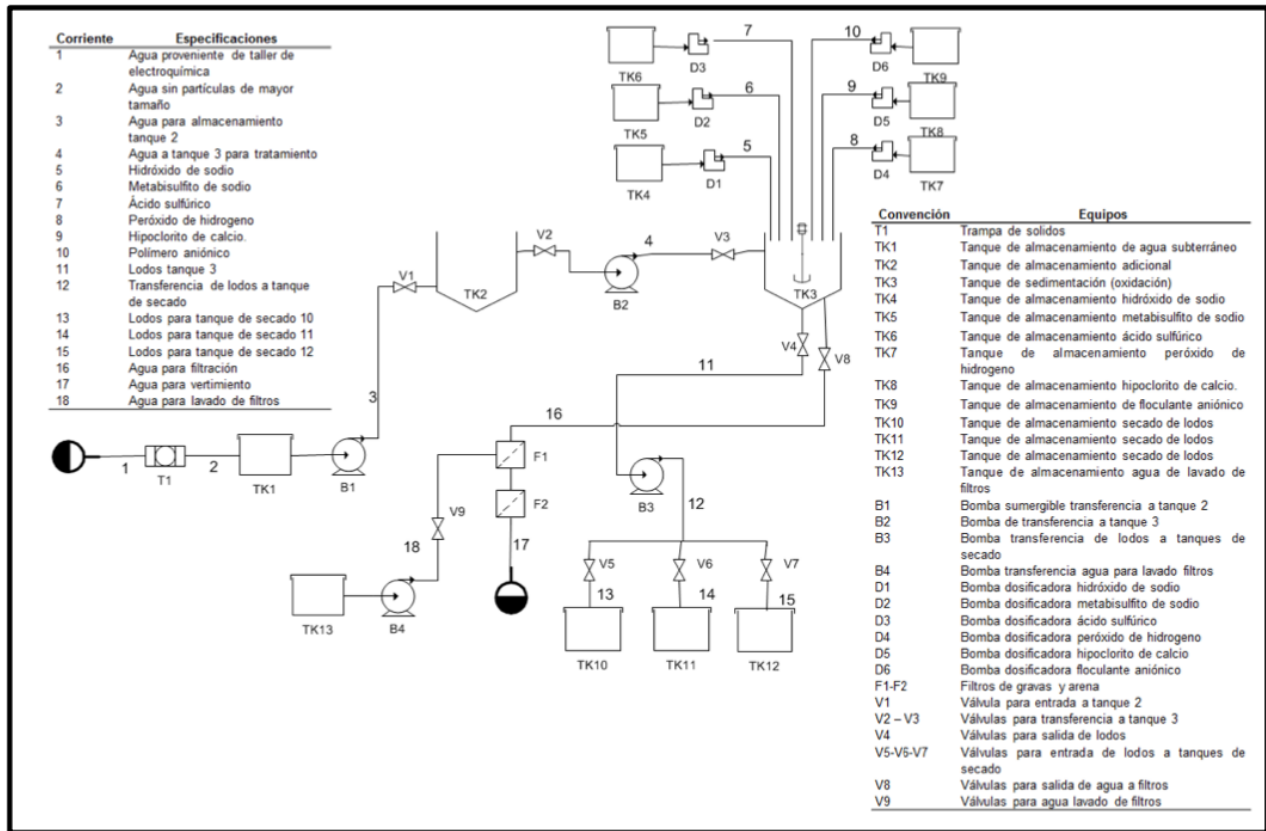
Para el tren de separación propuesto, se realiza la remoción de metales pesados en 5 diferentes etapas. La primera etapa correspondiente a la oxidación de cianuro usando el peróxido de hidrogeno e hipoclorito de calcio al 30% y 12,5% respectivamente, esta oxidación se realiza dos veces con un tiempo de sedimentación de 60 min en cada oxidación. La segunda etapa corresponde a la reducción y precipitación del cromo, esta se realiza usando metabisulfito de sodio al 5% contando con un tiempo de reacción de 30 minutos, para luego realizar un ajuste de pH que va a favorecer la precipitación de este metal pesado por su solubilidad. La tercera etapa se basa en la precipitación de los demás metales presentes en el agua realizando un ajuste de pH, llevando este a un medio alcalino que va a favorecer la precipitación de estos. En la cuarta etapa ocurre la floculación de los sedimentos generados en las anteriores etapas, para esta etapa la materia prima empleada es polímero aniónico al 0,1% incrementando el tamaño de los sedimentos, ayudando a que su remoción se haga de manera más simple, finalmente, para la quinta y última etapa se realiza la filtración en donde se termina de retirar los sólidos suspendidos en el agua.

3.2.2. Diagrama de flujo de procesos para el proceso actual (PFD)

En la planta de tratamiento del taller de electroquímica se realiza el proceso de remoción de metales pesados residuales de los procesos de galvanización, en la Figura 7. se muestra el diagrama de flujo de procesos para el tren de tratamiento actual.

Figura 7.

PFD Tratamiento Actual



Nota. Se muestra el diagrama de bloques del procedimiento actual. Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aerea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

3.2.3. *Parámetros: caracterización inicial del agua cruda*

Al realizar el proceso de caracterización inicial del agua, obtenida después de los procesos de recubrimientos electrolíticos realizados en el taller de electroquímica, se evalúan parámetros como: metales pesados, DBO5, DQO, grasas y aceites y solidos totales suspendidos, comparándolos con los valores límites establecidos por la resolución 0631 del 2015 para cada uno de los parámetros. En la tabla 9 se evidencian los valores obtenidos para la caracterización inicial de agua cruda en el año 2019 y en el año 2022. Ver Anexo 3 y 5.

Tabla 9.*Parámetros fisicoquímicos del Agua Cruda*

Parámetros	Entrada de agua	Entrada de agua	Valores de Resolución
	2019	2022	631 de 2015
Cianuro total (ppm)	7,53	< 0,050	0,1
Cadmio (ppm)	3,55	49,5	0,05
Cromo total (ppm)	14	9,49	0,5
Níquel (ppm)	3	11,8	0,5
Plomo (ppm)	0,086	0,835	0,2
Fenoles (ppm)	<0,049	0,050	0,2
DBO5 (mgO2/L)	501,33	86,5327	100
DQO (mgO2/L)	587,2	369	250
Grasas y aceites (ppm)	103,4	107	10
Solidos Suspendidos	4053,33	59,32	50
Totales (SST)(ppm)			

Nota. Parámetro fisicoquímicos para el año 2019 y 2022

Para la evaluación de estos parámetros en el agua residual, se toma una muestra compuesta, ya que la actividad de recubrimientos en el taller de electroquímica no es constante, por esta razón se presentan variaciones en los valores obtenidos para cada parámetro en la caracterización inicial.

3.2.4. Parámetros: Caracterización final del agua tratada

La caracterización final para el agua obtenida después de realizado el proceso de tratamiento, se evalúa bajo los mismos parámetros de la caracterización inicial y valores establecidos por la resolución 0631 del 2015. La Tabla 10 y Tabla 11 muestran los valores obtenidos para cada parámetro después de aplicar el tratamiento establecido actualmente: Ver Anexo 4.

Tabla 10.*Cantidad de Metales Pesados en el Agua Tratada*

Parámetro	Resultado	%Remoción	Resolución 0631 de 2015
Cianuros (ppm)	<0,427	94,33	0,1
Cadmio (ppm)	0,017	99,5	0,05
Cromo (ppm)	0,064	99,54	0,5
Níquel (ppm)	0,063	97,9	0,5

Nota. Resultados obtenidos del análisis de metales. Tomado de: Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aerea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

Tabla 11.*Parámetros fisicoquímicos del agua tratada*

Parámetro	Resultado	%Remoción	Resolución 0631 de 2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 (mgO2/L)	0,1513	99,97	100
Demanda Química de Oxígeno DQO (mgO2/L)	28,8	99,97	250
Grasas y Aceites (ppm)	9,7	90,62	10
pH	8,66		6 a 9
Sólidos Sedimentables (SSED) (ppm)	0	100	2
Sólidos Suspendidos Totales (SST) (ppm)	6,67	99,84	50

Turbiedad (NTU)	0,25	99,89
----------------------------	------	-------

Nota. Parámetros fisicoquímicos de la muestra. Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aerea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea]
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

El proceso actual tiene porcentajes de remoción del 94,33% para cianuros, 99,5% para cadmio, 99,54% para cromo y 97,9% para níquel, obteniendo valores menores a los del agua cruda, sin embargo, el valor obtenido para cianuros en la caracterización final no se encuentra dentro de los límites permitidos en la resolución, a diferencia de los demás metales pesados. Los parámetros fisicoquímicos en la caracterización final si se encuentran dentro de los límites permitidos para los vertimientos de aguas residuales no domésticas.

El tren de separación propuesto en el 2019 en el trabajo de investigación “PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL PROCESO DEL TALLER DE ELECTROQUIMICA PERTENECIENTE A LA FUERZA AEREA COLOMBIANA MADRID CUNDINAMARCA” es actualmente el proceso mediante el cual se hace la remoción de metales pesados para este taller, sin embargo, con el fin de mejorar este proceso se realizaron recomendaciones por parte de los investigadores, como lo fueron:

- Estudiar la composición de los lodos y plantear un proceso para la recuperación de los metales retenidos en estos.
- Realizar adecuación en el taller de electroquímica con el fin de separar las aguas alcalinas de las acidas, para realizar posteriormente tratamiento a cada tipo de agua.
- Reutilizar el agua tratada para usos como lavado de pisos y evaluar los efectos posibles para la preparación de soluciones empleadas en el proceso.
- Validar los cambios en la calidad del agua obtenido en el rendimiento del proceso, efecto de la utilización de agua del acueducto en lugar de agua destilada para la preparación de las disoluciones empleadas en el proceso.

- Realizar estudio de la velocidad de sedimentación para diseñar decantador.

Estas no se han tenido en cuenta para el funcionamiento de la planta de tratamiento actual, por lo que se vuelven a tener a consideración en este proceso y así optimizar el funcionamiento de la planta de tratamiento.

4. ESTABLECER REQUERIMIENTO TÉCNICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL DIÓXIDO DE CLORO COMO OXIDANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS SELECCIONADA

4.1 Características generales

El dióxido de cloro es empleado para el tratamiento de aguas residuales, por sus propiedades biocidas y oxidantes. Como desinfectante este es más potente que los desinfectantes comunes como lo son el cloro y la cloramina, mientras que la acción oxidante de este compuesto mejora de manera considerable propiedades físicas y químicas del agua, reaccionando con compuestos como fenoles, sustancias húmicas, sustancias orgánicas y iones metálicos.

Tabla 12.

Reacciones de algunas sustancias frente al dióxido de cloro

Sustancia	Reacción
Sustancias Orgánicas naturales y sintéticas seleccionadas	Pueden reaccionar y formar clorito
Hierro y manganeso	Oxidación
Color	Remoción
THMFP	Reducción
Sustancias Orgánicas	Oxidación
Fenoles	Oxidación a quinonas

Nota. En esta tabla se muestra la reacción que tienen algunas sustancias ante la oxidación mediante el dióxido de cloro. Tomado de: “DIOXIDO DE CLORO” R.A. Deininger.

“El ClO_2 o dióxido de cloro es un producto seguro, no tóxico, no irritante, no explosivo, fácil de manejar, posee una alta eficiencia biocida ya sea a pH altos o bajos (3 a 9) pero resulta ser muy sensible a la luz ultravioleta, por lo que se debe conservar en un recipiente cerrado y en ausencia de la luz, la sensibilidad que representa el ClO_2 a los rayos UV ayuda a la degradación del exceso de cloro libre que se produce luego del tratamiento.” [11]

4.2 Propiedades físicas del dióxido de cloro

El dióxido de cloro tiene un peso molecular de 7,46 g/mol, en su estado natural se encuentra gaseoso e inestable. “El ClO₂ es soluble en soluciones acuosas, ya sea en agua o en otras sustancias orgánicas hasta una concentración del 10% de manera que se asegura su estabilidad en solución”. Algunas de las propiedades físicas de estas sustancias son las siguientes:

Tabla 13.

Propiedades físicas del dióxido de cloro

Punto de ebullición	11°C
Punto de fusión	-59°C
Densidad relativa (agua=1)	1,6 a 0 °C; estado líquido
Solubilidad en agua	0,8 g/100 mL a 20°C
Presión de vapor	101 a 20°C kPa
Límites de explosividad	>10% en volumen en el aire

Nota. En la tabla se exponen algunas de las características físicas principales del dióxido de cloro. Tomado de. “Diseño a escala piloto de un sistema de eliminación de fenoles en aguas residuales de una empresa textil empleando dióxido de cloro” T. Loja.

4.3 Propiedades químicas

El dióxido de cloro es un compuesto volátil, altamente oxidante y de alto nivel energético en soluciones acuosas, es esta característica la que genera un radical libre. Es un gas inestable que desprende calor y se disocia en cloro gas (Cl₂) y oxígeno gas (O₂). El contacto con la luz del sol hace que se foto-oxide y se descomponga, dando como productos finales de la reacción al cloruro (Cl) ion hipoclorito (ClO) y clorato (ClO₃).[11]

4.3.1. Solubilidad

La solubilidad del dióxido de cloro es muy alta en el agua fría, sin embargo, cuando está en dilución este no se hidroliza, sino que más bien permanece como un gas disuelto en solución.

La siguiente tabla muestra el cambio en la solubilidad del dióxido de cloro a distintas condiciones de temperatura y presión.

Tabla 14.

Solubilidad del dióxido de cloro en función de la presión y temperatura

Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Solubilidad (g/L)
25	34,50	1,82
25	22,10	1,13
25	13,40	0,69
40	8,40	2,63
40	56,20	1,60
40	18,80	0,83
60	106,90	2,65
60	53,70	1,18
60	12,00	0,26

Nota. Los valores de solubilidad del dióxido de cloro varían dependiendo de la temperatura y la presión del sistema. Tomado de: “Diseño a escala piloto de un sistema de eliminación de fenoles en aguas residuales de una empresa textil empleando dióxido de cloro” T. Loja.

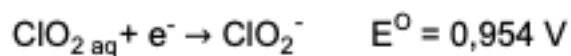
4.3.2 Potencial de oxidación

El ClO₂ se encuentra en un estado de oxidación +4, por lo que su acción desinfectante se da mediante la oxidación, cuando este se encuentra a altas concentraciones tiene una reacción violenta

con los agentes reductores y su acción oxidante es bastante selectiva porque tiene un mecanismo de transferencia de un electrón único que se reduce a clorito (ClO_2^-).

4.3.2.a Ecuación clave con potencial de oxidación (E^0). Esta ecuación es importante tenerla en cuenta ya que de esta se obtiene el potencial de oxidación del dióxido de cloro.

Ecuación 1. Ecuación clave



En la tabla 15 se puede evidenciar los diferentes potenciales de oxidación en los oxidantes más comunes, permitiendo una comparación entre estos:

Tabla 15.

Potencial de oxidación de agentes oxidantes

Especie	Potencial de Oxidación (Voltios)	Poder de oxidación relativa
Fluorina	3,06	2,23
Radicales hidroxilos	2,80	2,06
Oxígeno atómico	2,42	1,78
Ozono	2,07	1,53
Peróxido de Hidrógeno	1,78	1,31
Hipoclorito	1,48	1,09
Cloro libre	1,36	1,00
Hipobromito	1,33	0,98
Dióxido de Cloro	0,95	0,70

Nota. Se presentan valores de oxidación de algunos de los oxidantes a modo de comparación. Tomado de. “Diseño a escala piloto de un sistema de eliminación de fenoles en aguas residuales de una empresa textil empleando dióxido de cloro” T. Loja.

4.3.3 *Producción del dióxido de cloro*

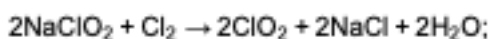
La producción de este compuesto se da por la reacción del cloro sódico (solución al 30%) y cloro (solución clorada); otra alternativa es emplear ácido clorhídrico en el reemplazo de la solución clorada con el que se introduce un ion común. [11]

Las reacciones que representan los anteriores procesos de producción se pueden ver en la Ecuación 2 y Ecuación 3:

Ecuación 2 Producción vía ácida



Ecuación 3 Producción vía clorada



4.4 Impacto ambiental

El dióxido de cloro no es un gas que se encuentre en la naturaleza, se fabrica de manera sintética y forma compuestos orgánicos solubles en agua y produce una cantidad menor de compuestos orgánicos clorados de bajo peso molecular que son fácilmente biodegradables, no producen dioxinas, minimiza los niveles de contaminación de sus efluentes y emanaciones atmosféricas. [11] Ya que es un compuesto con gran volatilidad este no permanece en el medio ambiente, sino que se degrada rápidamente.

El dióxido de cloro en los humanos es tóxico dependiendo del tipo de contacto, si el contacto es por inhalación esta provoca quemaduras en las vías respiratorias, la piel y en los ojos puede producir ulceración de la conjuntiva y la córnea, si el contacto es por ingestión puede causar quemaduras intestinales graves en el esófago, en el estómago y en la garganta.

4.5 Cuidados en la manipulación del dióxido de cloro

Algunas de las recomendaciones para la manipulación de este compuesto es el uso de bata de laboratorio, guantes de nitrilo, gafas de protección, máscara, para evitar la irritación facial debido

al gas del dióxido de cloro. Si no se cuenta con una cabina de extracción para su manipulación, se recomienda disminuir la temperatura para evitar su rápida volatilización.

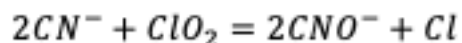
4.6 Otros requerimientos

En base al trabajo de investigación realizado en el 2019 para la determinación del proceso actual y la información presentada en la tabla 25, se determinaron parámetros como la agitación y el tiempo determinado para este proceso. La agitación rápida que se va a implementar primordialmente en la adición de los oxidantes y de los ajustes de ph se van a realizar a 120 RPM que se encuentra en el rango idóneo para la optimización y reducción de los metales. Mientras que para la etapa de floculación se tuvo en cuenta lo establecido por el IDEAM como recomendación en procesos de floculación y coagulación en donde el proceso de floculación tendrá inmerso una agitación lenta que será de 40 RPM durante 20 minutos.

4.7 Reacciones

En el tren de separación se presentan distintas reacciones para las diferentes etapas como la oxidación del cianuro, reducción de cromo y precipitación de metales, las ecuaciones 4, 5 y 6 representan las reacciones mencionadas, respectivamente:

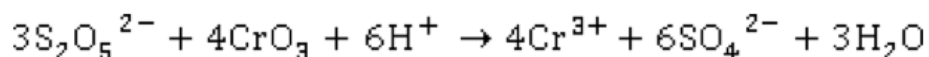
Ecuación 4 Oxidación del cianuro



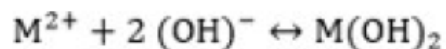
La oxidación del cianuro se realiza de manera regular con el oxidante peróxido de hidrogeno, ya que este sobresale como uno de los tratamientos para la eliminación de este compuesto en el agua, debido al bajo costo y facilidad de operación que tiene, tiene una alta eficacia en la remoción de varios tipos de cianuro en solución.

Lo que hace el peróxido de hidrogeno en la solución cianurada es que oxida el cianuro convirtiéndolo en cianato que es un compuesto mucho menos toxico que el cianuro y fácilmente hidrolizable. La reacción es catalítica homogénea, sin embargo, es completamente necesaria la agitación y sedimentación posterior. [13]

Ecuación 5 Reducción del cromo



Ecuación 6 Precipitación de metales



La influencia del pH y del tiempo de reacción durante el proceso es de suma importancia, debido a que este debe encontrarse entre los valores en donde cada reacción se puede dar, es decir, entre el rango que sea más favorable para que la reacción en cuestión ocurra de la manera más óptima, además, para la remoción de metales es de suma importancia tener en cuenta el pH al cual estos precipitan para lograr una correcta separación. Estos datos a tener en cuenta se evidencian en la tabla 16 y 17.

Tabla 16.

pH para reacciones

	pH adecuado de oxidación	Tiempo de reacción
Oxidación de Cianuros	9-11 siendo los valores cercanos a 9 donde se encuentra la mayor degradación	60 minutos ¹⁹⁵
Reducción de cromo hexavalente a cromo trivalente	Valores menores a 3 pero el mejor intervalo de reacción está comprendido entre 2-2,5	30-45 minutos

Nota. Rango de pH determinado para cada etapa. Tomado de. Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso del taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana Madrid Cundinamarca [en línea]

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

En el caso de los metales y su precipitación química, cada metal tiene intervalos distintos de pH encontrando que la mayoría trabajan con pH mayores a 7 como se evidencia en la tabla 17.

Tabla 17.

pH de precipitación de metales

Metales	pH adecuado de precipitación
Plata	9-12
Mercurio	7-11
Cromo	8.5 - 10
Cadmio	8- 11
Níquel	9-10

Nota. Rango de pH para la precipitación de los metales. Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aérea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

5. DESARROLLO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS CON EL DIÓXIDO DE CLORO COMO OXIDANTE

El desarrollo de la metodología para el proceso de tratamiento de aguas residuales con dióxido de cloro como oxidante, se fundamentó en el trabajo de grado “propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generados en el proceso del taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana Madrid – Cundinamarca” realizado en el 2019, el cual se aplica actualmente en la base aérea mencionada.

Para iniciar la evaluación del dióxido de cloro como oxidante en esta nueva propuesta de tren de separación se realiza diferentes pruebas a la muestra de agua residual obtenida de este taller en el año 2022.

5.1 Caracterización inicial

En la determinación de los parámetros inmersos en la caracterización inicial y final de la muestra de agua que fueron DBO5, DQO, turbidez, colorimetría, grasas y aceites, solidos sedimentables y solidos totales, se tomaron en las instalaciones de laboratorio de calidad de aguas de la Universidad Militar Nueva Granada, para los cuales también se tuvo en cuenta lo que establece el IDEAM.

Según lo pertinente, teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados y la realización de la practica en el laboratorio de manera experimental, se desarrollan también los cálculos pertinentes, estos mismos, se logran apreciar detalladamente en el Anexo 7, correspondiente a los cálculos de caracterización inicial y final.

Para hacer una correcta evaluación del dióxido de cloro como oxidante en el proceso, a la muestra tomada de agua residual del taller de electroquímica se le realizan pruebas para medir los parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento con el ClO₂. Los parámetros fueron los siguientes:

5.1.1. Turbidez

La medición de este parámetro se realiza mediante un instrumento de medición llamado turbidímetro, este parámetro es de vital importancia cuando se está haciendo un tratamiento de aguas residuales, ya que este valor mide el material particulado suspendido en la muestra. El valor obtenido para la muestra de agua cruda se logra apreciar en la tabla 18.

Tabla 18.

Turbidez inicial

Parámetro	Valor
Turbidez (NTU)	38,2

Nota. Resultado obtenido para la turbidez.

5.1.2. Color aparente

Para la evaluación de los parámetros en esta muestra de agua se realiza la medición de color aparente, esta incluye no solo las sustancias disueltas en la muestra sino además los sólidos en suspensión. La medición de este parámetro se obtuvo mediante un espectrofotómetro, como se muestra en la figura 8.

Figura 8.

Colorimetría inicial



Nota. Evaluación de colorimetría para la muestra.

El valor obtenido para la muestra se evidencia en la tabla 17

Tabla 19.

Colorimetría inicial

Parámetro	Valor
Color aparente (UPC)	294

Nota. Resultado para el parámetro de colorimetría

5.1.3. Grasas y aceites

La medición de este parámetro se realiza mediante una extracción soxhlet, lo que este parámetro indica es la presencia de sustancias de naturaleza lipídica, es decir, sustancias inmiscibles con el agua que generalmente se identifican en la superficie como natas y espumas. En la figura 9 se muestra el proceso para la determinación de grasas y aceites.

Figura 9.

Grasas y aceites



Nota. Montaje grasas y aceites.

El cálculo para este parámetro establecido por el IDEAM se realiza mediante la ecuación 7:

Ecuación 7. Grasas y aceites

$$GYA, mg / L = \frac{(Pf - Pi)}{V} * 10^6$$

Dónde:

Pf = peso final del matraz de extracción, g.

Pi = peso inicial del matraz de extracción, g.

V = Volumen de muestra, mL

El valor obtenido para este parámetro se evidencia en la tabla 20 (Ver anexo 7. Cálculos):

Tabla 20.

Valor inicial de grasas y aceites

Parámetro	Valor
Grasas y aceites (mg/L)	107

Nota. Valor obtenido para el parámetro.

5.1.4. DQO (método FAS)

La medición de la demanda química de oxígeno (DQO) es el parámetro que determina la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica en la muestra de agua.

En el método FAS las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con un exceso de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de sulfato de plata (Ag_2SO_4) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercuríco ($HgSO_4$) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente. [12]

Para la determinación de este parámetro se tomaron dos muestras de blancos y dos de la muestra de agua cruda, la alícuota fue de 2,5 mL, después se adiciono 1,5 mL de solución digestora y 3,5 mL de ácido sulfúrico concentrado, la adición de este se debe hacer de manera cuidadosa y por la pared del tubo de ensayo, finalmente se cierra el tubo de ensayo y se agita. Este procedimiento se realiza para cada una de las muestras y se da un tiempo de digestión de dos horas.

Una vez terminado el tiempo de digestión para cada muestra, se realiza la respectiva titulación, para esta se agrega ferrioina a cada muestra como indicador, obteniendo un cambio en la coloración a verde, como se evidencia en la Figura 10.

Figura 10.

Medición DQO



Nota. Montaje DQO

Se realiza la titulación con dicromato hasta que se obtenga un color rojizo constante, como se observa en la Figura 11.

Figura 11.

Titulación DQO



Nota. Montaje DQO-Titulación

Se realiza la toma de datos con los volúmenes de titulación obtenidos para cada una de las muestras. Después de realizar el procedimiento se obtuvieron los resultados de la tabla 21.

Tabla 21.

Volúmenes de titulación

Muestra	Volumen de titulación (mL)
Blanco 1	2,61
Blanco 2	2,44
1	1,37
2	1,26

Nota. Volúmenes de titulación para DQO

Una vez obtenido los volúmenes de titulación, se procede a realizar el cálculo respectivo para la determinación del DQO de la muestra, en la ecuación 8 se muestra la fórmula para obtener este cálculo.

Ecuación 8. Cálculo DQO

$$\text{DQO como mg O}_2/\text{L} = \frac{(A - B) \times N \times 8 \times 1000}{\text{mL de muestra}}$$

dónde:

A = Promedio de mL de FAS utilizado para los blancos digeridos

B = mL de FAS utilizado para la muestra

N = Normalidad del FAS

8 = Peso equivalente del Oxígeno

Luego de realizar el cálculo, se obtuvo los resultados de la tabla 22 (Ver Anexo 7. Cálculos).

Tabla 22.

Parámetro DQO

Parámetro	Valor
DQO (mg/L)	369,6

Nota. Valor obtenido para este parámetro

5.1.5. DBO5 (incubación)

La prueba de DBO se realiza con el fin de medir la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C.[12]Para las aguas residuales domesticas este parámetro es equivalente a un 65% a 70% del valor total del parámetro DQO.

Inicialmente se prepara el agua de dilución suficiente para el análisis, se tiene en cuenta la preparación de dos botellas Winkler con blancos y tres con 1, 2.5 y 5 mL de muestra respectivamente. El agua de dilución debe estar aireada por mínimo dos horas antes y posteriormente se la prepara con una solución tampón de fosfatos, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro de hierro. Una vez lista el agua de dilución se procede a llenar las botellas Winkler, las dos botellas con blancos se llenan en su totalidad con agua de dilución mientras que las otras tres botellas, se les adiciona el volumen restante, se hace una lectura inicial para cada una de estas botellas, mediante un oxímetro (Figura 12) y se registran los datos experimentales obtenidos en las muestras.

Figura 12.

Medición con Oxímetro



Nota. Obtención de datos con oxímetro

Luego de registrados los datos, las muestras se incuban durante 5 días a una temperatura constante, cumplido el tiempo requerido, se realiza una nueva lectura del oxígeno disuelto residual y se registran los resultados obtenidos de este parámetro, con el fin de realizar los respectivos cálculos correspondientes para conocer el resultado del DBO5 (Ver Anexo 7. Cálculos), en la ecuación 9 se puede observar la fórmula para obtener este cálculo.

Ecuación 9. DBO5

$$DBO_5, mgO_2 / L = \frac{(OD_{consumido} - OD_{consumo\ cepa}) * V}{V_m}$$

Donde:

OD consumido: OD i – OD r

OD consumo cepa: OD i (agua de dilución + cepa) – OD r (agua de dilución + cepa)

V= Volumen de la botella Winkler, que el valor promediado es de 293 ml.

V_m = Volumen de alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución

Para la medición de este parámetro se obtuvieron los datos registrados en la tabla 23 de cada una de las botellas Winkler.

Tabla 23.

Registros DBO5

DBO5		
Muestra (L)	Inicial mg/L	Final mg/L
Blanco 1	6,95	4,64
Blanco 2	7,01	5,07
0,001	7,03	4,25
0,0025	7,01	4,76
0,005	7,02	3,99

Nota. Datos registrados para DBO5

El cálculo mediante la Ecuación 10 se realiza para las tres diferentes muestras de 1, 2.5 y 5 mL, finalmente se promedian para obtener un valor de toda la muestra, en este caso, el valor obtenido se evidencia en la ecuación 7 (Ver Anexo 7. Cálculos).

Ecuación 10. Resultado DBO5

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{l} = 86.5327 \frac{mg}{L}$$

5.1.6. Sólidos totales

Los “sólidos totales” se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 - 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales: porción que pasa a través del filtro) y no disuelto (sólidos suspendidos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro).[14] El análisis de este parámetro es muy importante para el control de procesos en aguas residuales, ya que para este parámetro se debe dar un cumplimiento en las limitaciones establecidas en la resolución 0631.

Inicialmente se toma una muestra de 20 mL de agua cruda que se encuentra homogeneizada y se la vierte en una capsula previamente pesada. La capsula junto con la muestra de agua se seca en un baño maría que se encuentra precalentado a la temperatura de ebullición del agua, hasta que se seque en su totalidad. Dejar enfriar a temperatura ambiente como se logra ver en la figura 13.

Figura 13.

Solidos después del secado



Nota. Solidos finales.

Una vez la capsula se encuentre a temperatura ambiente, se pesan y se registra el peso final obtenido. Para la determinación de este parámetro se hace uso de la Ecuación 11.

Ecuación 11. Solidos Totales

$$ST = \frac{(A - B)1000}{V}$$

Donde:

ST: Sólidos Totales, en mg/L

A: Peso final de la cápsula con el residuo seco, en gramos.

B: Peso inicial de la cápsula tarada en gramos.

V: Volumen de muestra desecada, en litros.

Los valores registrados de manera experimental para este parámetro son los que se muestran en la tabla 24.

Tabla 24.

Registros solidos totales

Solidos Totales	
W Capsula inicial (g)	64,7989
final (g)	65,0955

Nota. Valor obtenido para este parámetro

Una vez realizado el cálculo para este parámetro mediante la ecuación 6 se determina una cantidad de solidos totales equivalente a 5920 ppm (Ver Anexo 7. Cálculos)

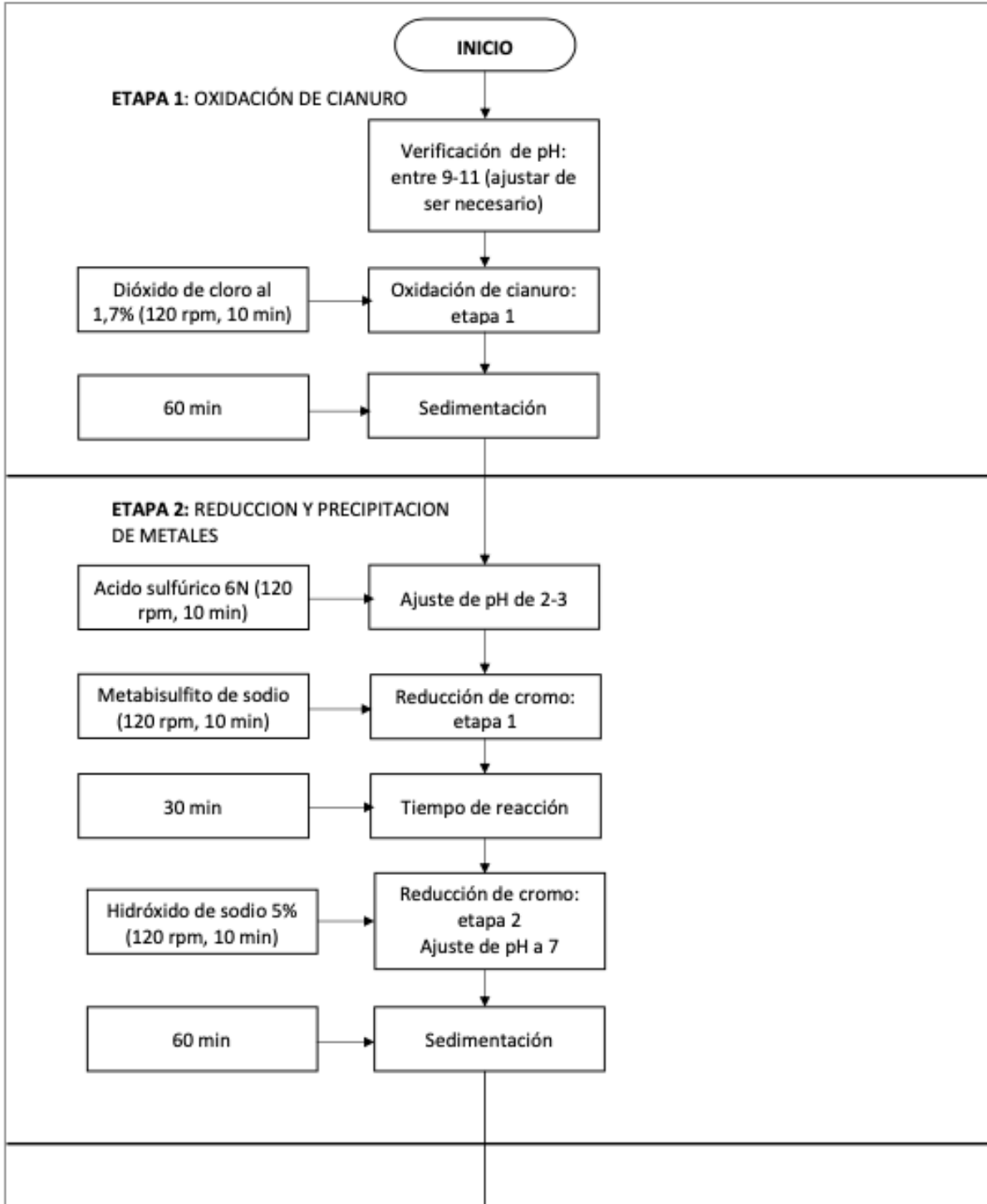
5.2 Test de jarras

Para realizar el proceso de evaluación de la capacidad del dióxido de cloro como oxidante en el tratamiento de aguas residuales industriales del taller de electroquímica de la base aérea, se determinó el tren de separación que se muestra en la Figura 14 y 15, empleando las siguientes sustancias químicas:

- Dióxido de cloro (oxidante)
- Metabisulfito de sodio al 5% (oxidante)
- polímero aniónico al 0,1% (floculante)
- Ácido sulfúrico 5% (Neutralizador)
- Hidróxido de sodio 5% (Neutralizador)

Figura 14.

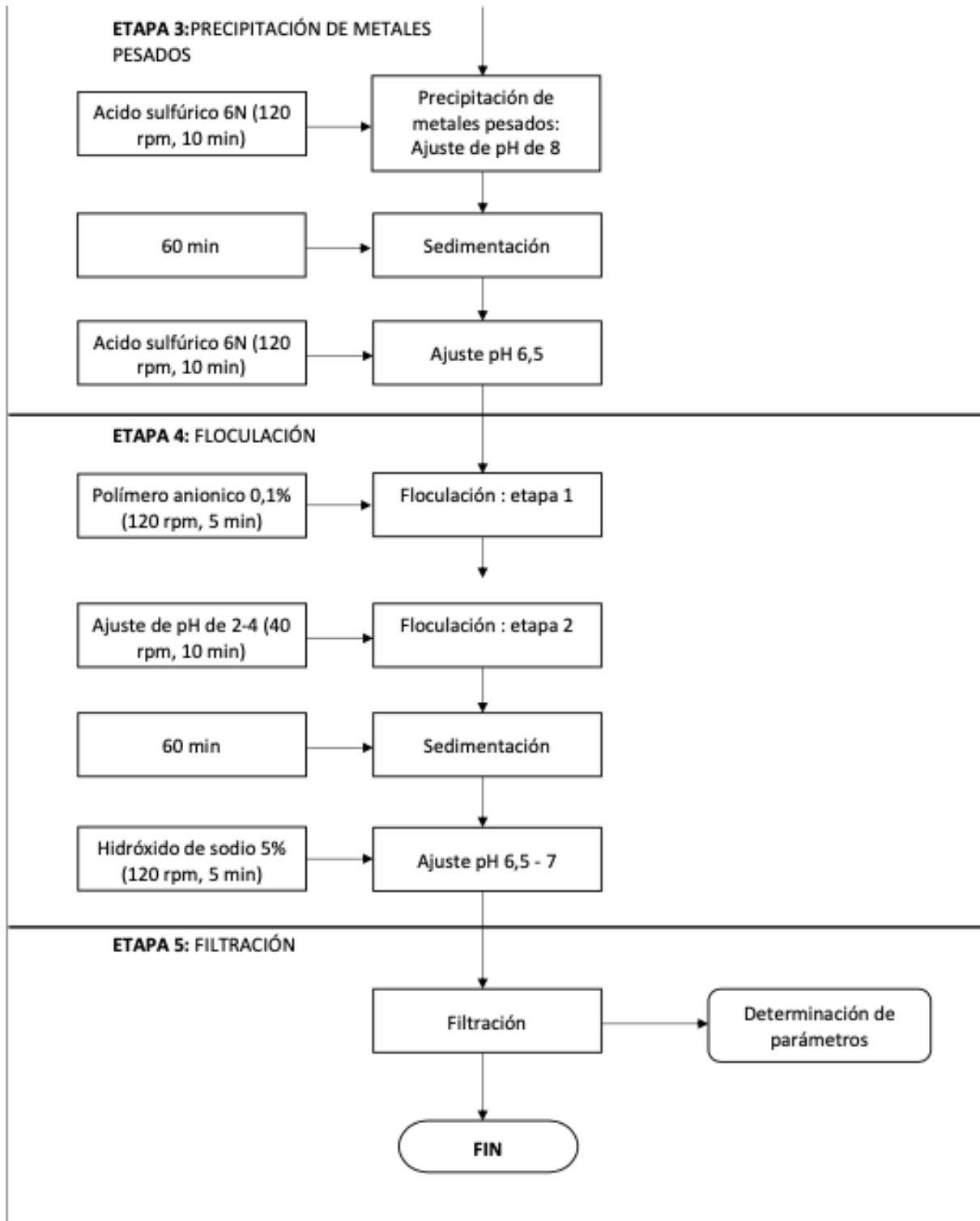
Flujograma Tren de Separación



Nota. Primera parte flujograma propuesto.

Figura 15.

Continuación Flujograma



Nota. Segunda parte flujograma propuesto.

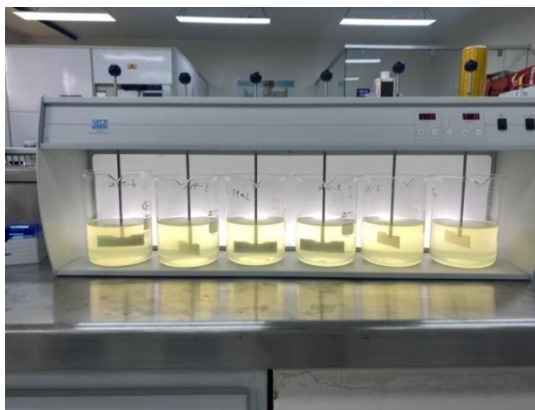
Para conseguir establecer este proceso de tratamiento se tuvo en cuenta una pre-experimentación de laboratorio y la revisión teórica pertinente de los parámetros a tener en cuenta durante el proceso (ver Tabla 25. Parámetros de reducción), esto para cada uno de los metales que se analizan en la prueba.

En el proceso llevado a cabo se realizó el análisis de 6 muestras de 1000 mililitros en las cuales se varia la concentración del oxidante, es decir, el dióxido de cloro. Además, para determinar la concentración del oxidante en cada muestra, se realizó un estado del arte en donde se implementaba el dióxido de cloro como oxidante con un porcentaje de concentración optimo del 5% [15], sin embargo la selección de las concentraciones de este oxidante fueron sugeridas y establecidas por la empresa EGESTEC SAS quien suministro el dióxido de cloro, con las dosificaciones seleccionadas se realizaron 2 ensayos previos al final, llegando a la conclusión desde esto que hay un mayor poder oxidante a una mayor concentración de dióxido de cloro en las muestras a las cuales son aplicadas. Las dosificaciones utilizadas para realizar el proceso fueron de 118 microlitros de dióxido, 59 microlitros y 94 microlitros (Revisar anexo 7 cálculos) con concentraciones de 2,0 ppm, 1,0 ppm y 1,6 ppm, respectivamente. Se duplico estos valores para tener en total una cantidad de 6 muestras.

En la Figura 16 se puede observar las 6 muestras mencionadas anteriormente, las cuales tienen un volumen de agua residual de 1000 mililitros.

Figura 16

Muestra de Agua Residual Inicial



Nota. Montaje de jarra.

5.2.1. Verificar el pH

Inicialmente se debe hacer una verificación del pH de la muestra mediante un pHmetro, debido a que este parámetro debe encontrarse entre un valor 8 - 11 ya que teóricamente se afirma que el dióxido de cloro tiene un mayor potencial oxidante en un medio con este pH [8]. el valor obtenido para este parámetro fue de 10,01, es decir, se encuentra en un medio alcalino y dentro del rango recomendado.

Este proceso es importante ya que, si la muestra no se encuentra en intervalo de pH es necesario hacer un ajuste y llevar la muestra hasta el rango recomendado. Como se evidencia en la Figura 17 hay un registro fotográfico del proceso llevado a cabo.

Figura 17

Medición de pH



Nota. Verificación de pH

5.2.2. Oxidación de cianuro

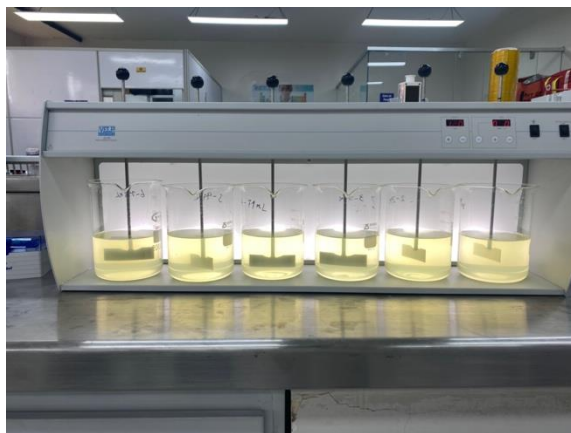
En la etapa de oxidación de cianuro se adiciona dióxido de cloro al 1.7% de concentración, en las cantidades mencionadas anteriormente para cada muestra de agua, este proceso se realiza al mismo

tiempo en cada jarra, en constante agitación de 120 rpm durante 10 minutos con el propósito de oxidar el cianuro que se encuentra disuelto en la muestra.

En la figura 18 se evidencia la muestra con el oxidante ya inmerso y la agitación correspondiente durante el tiempo establecido.

Figura 18.

Oxidación de Cianuro



Nota. Tiempo de sedimentación.

La determinación de concentraciones del dióxido de cloro en cada muestra tuvo en cuenta que teóricamente la concentración óptima del dióxido de cloro como oxidante es del 5%, a partir de esta concentración se realizó una escala para obtener diferentes concentraciones en cada muestra. al realizar una pre-experimentación de este mismo proceso se concluyó mediante la evaluación de propiedades fisicoquímicas que las concentraciones que favorecían el poder oxidante en el proceso fueron 118 microlitros, 94 microlitros, y 59 microlitros de dióxido de cloro (ver Anexo 7. Cálculos), por lo cual se realizó el proceso para estas concentraciones en duplicado. En la tabla 25 se denota la concentración adicionada de oxidante para cada una de las muestras de 1000 mililitros.

Tabla 25.

Concentraciones de cada muestra.

Jarra	Cantidad de ClO ₂ (mL)	Concentración de ClO ₂ (ppm)
Jarra 1	0,118	0,2
Jarra 2	0,118	0,2
Jarra 3	0,059	0,1
Jarra 4	0,059	0,1
Jarra 5	0,094	0,16
Jarra 6	0,094	0,16

Nota. Dosis de cada jarra.

5.2.3. *Tiempo de sedimentación*

Posterior a la oxidación del cianuro se realiza el proceso de sedimentación durante 60 minutos para favorecer la precipitación de los sólidos formados. En la Figura 19 se puede observar las muestras durante este proceso.

Figura 19.

Sedimentación 1ra etapa.

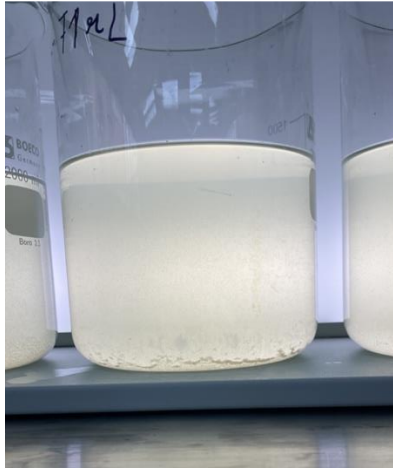


Nota. Tiempo de sedimentación.

Pasado el tiempo pertinente para llevar a cabo el proceso de sedimentación, se evidencian sólidos precipitados en el fondo de cada jarra, como se logra observar en la figura 20.

Figura 20.

Sólidos Precipitados



Nota. Aparición de sólidos.

5.2.4. Reducción de cromo

En la segunda etapa del tren de separación se realiza la reducción del cromo, en donde inicialmente se realiza un ajuste de pH acidificando la muestra hasta lograr un pH entre 2 y 3 como se muestra en la Tabla 26, mediante la adición de ácido sulfúrico 6N en una agitación continua a 120 rpm durante 10 minutos.

Tabla 26.*Volumen de ajuste de pH.*

Jarra	Ácido Sulfúrico 6N (MI)	pH final
Jarra 1	119	2,94
Jarra 2	118	2,81
Jarra 3	115	2,81
Jarra 4	115	2,77
Jarra 5	120	2,99
Jarra 6	120	2,91

Nota. Dosificación para la reducción de cromo.

El siguiente paso es adicionar 2.7 mililitros de metabisulfito de sodio al 5% (Revisar Anexo Cálculos) en una agitación constante de 120 rpm durante 10 minutos. Estos parámetros se determinaron teniendo en cuenta las revisiones teóricas que se evidencian en la Tabla 27.

Tabla 27.*Parámetros de reducción de metales pesados.*

Metales	pH adecuado de precipitación	Tiempo de reacción	Mejoras e inconvenientes
Plata	9-12		
Mercurio	7-11		
Níquel	>9,5 7,5-10,5 9-11 9-11 12 7.5-12	1 hora	Se puede mejorar la precipitación de este agregando H ₂ O ₂
Plomo	9-10 7-11 9-11 9-9,5 8-10,5	1 hora	

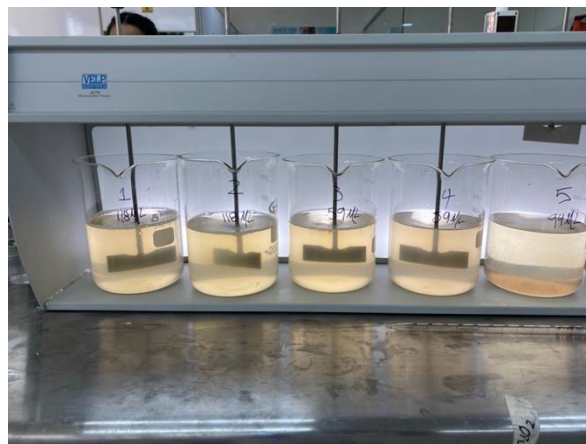
Cromo	8,5-9,5	25 min	Se puede mejorar la precipitación de este agregando H ₂ O ₂
	8 a 9	45 min	
	8,5-10	60 min	
Cadmio	9-12	1 hora	La precipitación de cadmio se inhibe en presencia de cianuro
	10		
	8-10		
	9,4		
	9-11		

Nota. Parámetros de reducción; Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aérea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

En la Figura 21 se muestran las jarras después de la adición del metabisulfito de sodio, se evidencia un cambio en coloración respecto a la muestra inicial de agua, además se puede observar sólidos disueltos en el agua.

Figura 21.

Reducción de cromo

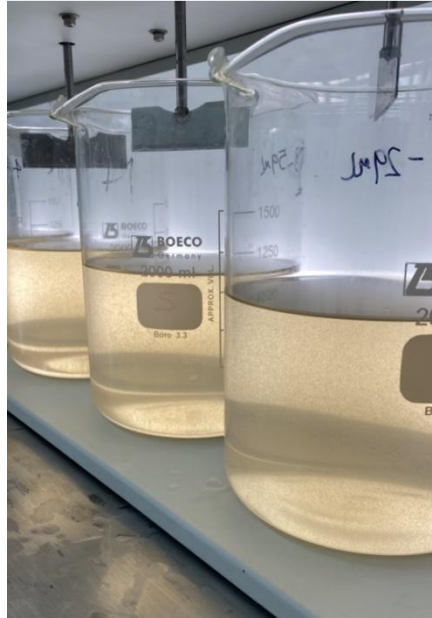


Nota. Inicio de reducción de cromo.

En la Figura 22 se evidencia un registro fotográfico más preciso de los sólidos en suspensión una vez finalizada la agitación continua.

Figura 22.

Sólidos en Suspensión



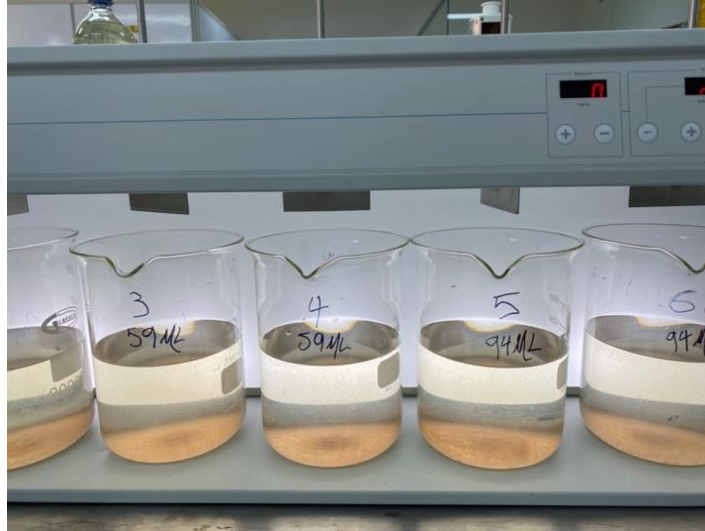
Nota. Aparición de sólidos en suspensión.

5.2.5. Tiempo de reacción

De acuerdo con la tabla 25 el tiempo de reacción para la reducción del cromo se estableció de 30 minutos. Una vez terminado este tiempo de reacción se pueden observar sólidos precipitados en el fondo de cada vaso de muestra, es posible verlo en la Figura 23.

Figura 23.

Solidos Precipitados Reducción de Cromo



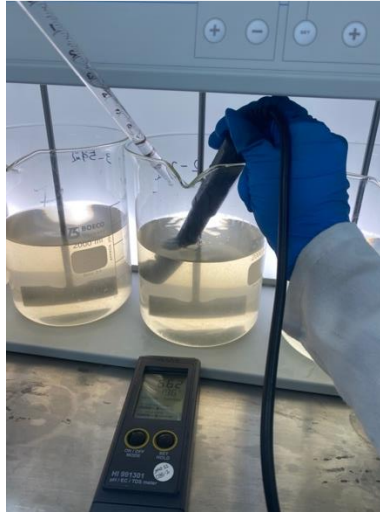
Nota. Solidos precipitados.

5.2.6. Ajuste de pH

Una vez completado el tiempo de reacción se realiza nuevamente un ajuste en el pH llevándolo a un medio neutro mediante la adición de hidróxido de sodio al 5% (Revisar Anexo Cálculos) durante agitación continua por un tiempo de 10 minutos, este proceso se logra observar en la Figura 24

Figura 24.

Revisión de ajuste de pH



Nota. Verificación de pH.

Los volúmenes para el ajuste del pH con hidróxido de sodio son los que se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28

Ajuste de pH Hidróxido de Sodio

Jarra	Hidróxido de Sodio (mL)	pH final
Jarra 1	18	7,01
Jarra 2	17	6,98
Jarra 3	19	7
Jarra 4	18	7,2
Jarra 5	19	6,99
Jarra 6	20	7,1

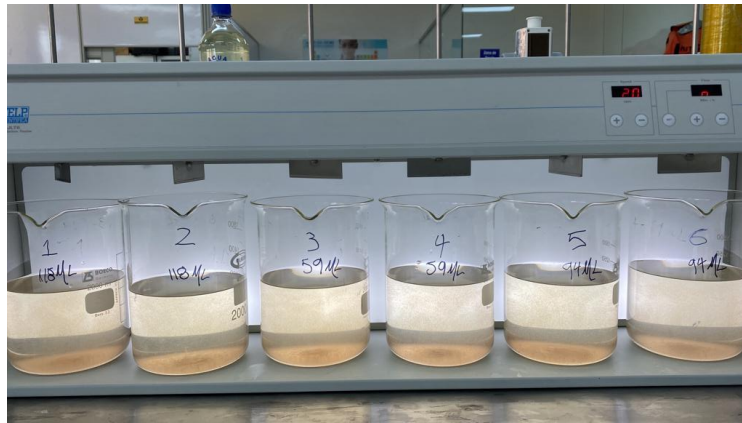
Nota. Volumen empleado de hidróxido de sodio.

5.2.7. Sedimentación

Se realiza una sedimentación durante 60 minutos para favorecer la precipitación del cromo disuelto en la muestra, en la Figura 25 se puede observar en el fondo de los vasos el precipitado posterior a la reducción del cromo.

Figura 25.

Muestras en Sedimentación



Nota. Tiempo de sedimentación.

5.2.8. Ajuste pH-Precipitación de metales

Para favorecer la precipitación de los metales pesados como lo son: Cadmio y Níquel se realiza un ajuste de pH llevándolo a un medio alcalino que se encuentra entre un rango de 8 – 8.5; ya que, por la solubilidad de estos metales, se logra una mejor precipitación. La Tabla 29 registra los valores obtenidos para el ajuste de pH en cada una de las muestras. En la Figura 26 se muestra la medición de pH durante este proceso de ajuste.

Tabla 29.

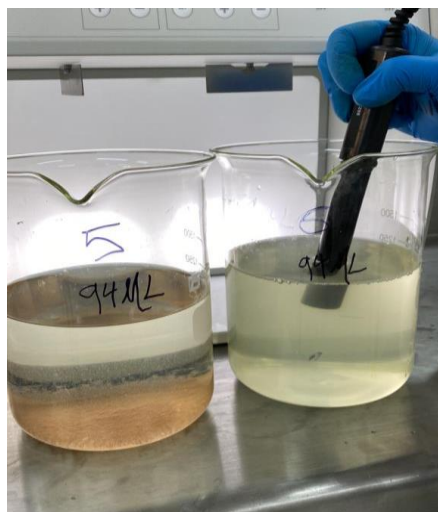
Ajuste Precipitación de metales

Jarra	Hidróxido de Sodio (mL)	pH final
Jarra 1	6	8,02
Jarra 2	6,5	8,22
Jarra 3	7	7,92
Jarra 4	7,3	8,07
Jarra 5	6,7	8,33
Jarra 6	6,5	8,15

Nota. Volumen de ajuste de pH.

Figura 26.

Medición de pH



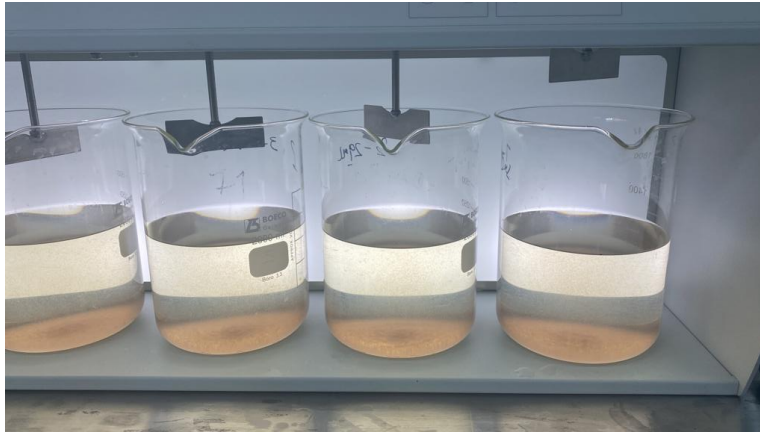
Nota. Verificación de pH.

5.2.9. Sedimentación

Una vez realizado el proceso de ajuste de pH y de la agitación pertinente se establece un tiempo de sedimentación de 60 minutos, con el fin de obtener la mayor cantidad de sólidos sedimentables correspondientes a los metales pesados. Como se muestra en la Figura 27 donde se logra evidenciar los sólidos en el fondo de los vasos de cada una de las jarras.

Figura 27.

Sedimentación de Metales Pesados



Nota. Tiempo de sedimentación.

5.2.10. Ajuste de pH de 6 - 6.5

Este ajuste de pH se realiza para cumplir con lo establecido en la resolución 0631 de 2015, la cual estipula que el pH adecuado para el vertimiento de aguas residuales debe encontrarse en un rango de 6 a 9, se determinó un ajuste de pH de 6 a 6.5 ya que en la siguiente etapa el floculante tiene un mayor potencial en un medio ácido. (Ver Anexo 10) Para el correspondiente ajuste los datos obtenidos de forma experimental fueron los que se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30.

Ajuste de pH de 6-6.5

Jarra	Ácido Sulfúrico 6N (MI)	pH final
Jarra 1	19	6,43
Jarra 2	20	6,46
Jarra 3	15	6,5
Jarra 4	17	6,6
Jarra 5	19	6,51
Jarra 6	18	6,47

Nota. Volumen empleado para ajuste de pH.

5.2.11. Flocculación Etapa 1

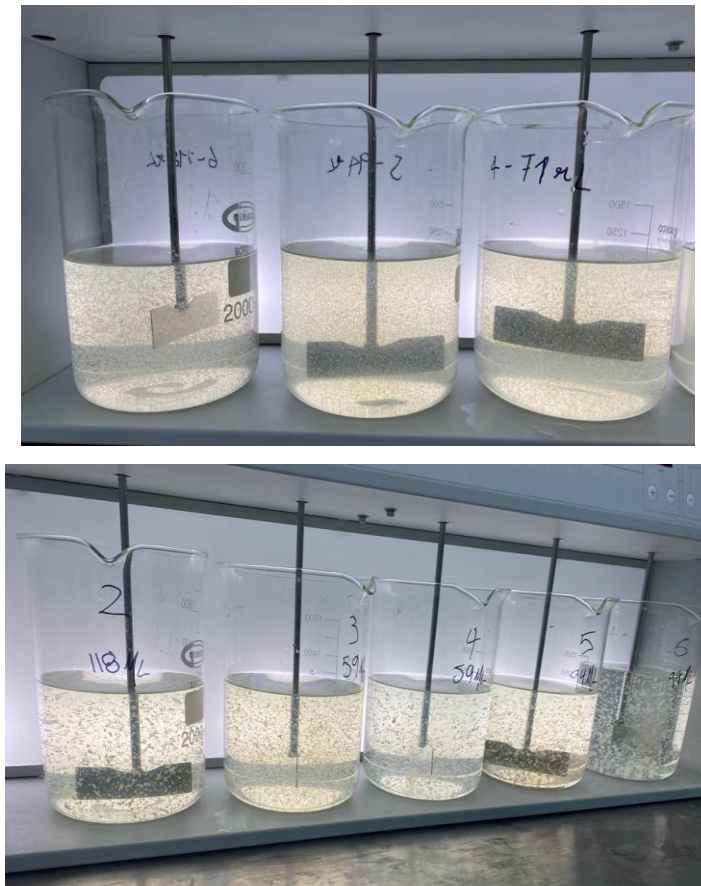
Debido a que los sedimentos no tienen el tamaño adecuado para ser retirados por medio de sedimentación y en este punto aún se encuentran partículas suspendidas en la muestra, se debe realizar un proceso de flocculación.

Según lo establecido en la norma técnica colombiana del procedimiento para el método de jarras en la coagulación y flocculación del agua (Norma NTC 3903), hay que tener en cuenta las consideraciones para el empleo de flocculantes, por esta razón se decide emplear polímero aniónico al 0.1% como flocculante del proceso.

Cada muestra de 1000 mL se agrega 8 mL de flocculante durante una agitación continua de 120 rpm durante 5 minutos, en la Figura 28 se observan un mayor tamaño en los flocs una vez es agregado el polímero aniónico. La determinación de la cantidad a emplear de coagulante en el proceso se hizo mediante la experimentación, en donde se concluyó que 8 mL de polímero aniónico al 0,1% de concentración favorecía la formación de flocs de mayor tamaño.

Figura 28.

Primera Etapa de Floculación



Nota. Floculación

5.2.12. Floculación Etapa 2

Posterior a la adición del floculante se reduce la velocidad de agitación a 40 rpm durante 10 minutos. En esta agitación lenta se realiza un ajuste de pH de 2-4 para favorecer la acción floculante del polímero aniónico, obteniendo flocs de mayor tamaño y más sedimentables. En la Tabla 31 se registró los datos obtenidos de forma experimental para el ajuste correspondiente.

Tabla 31.

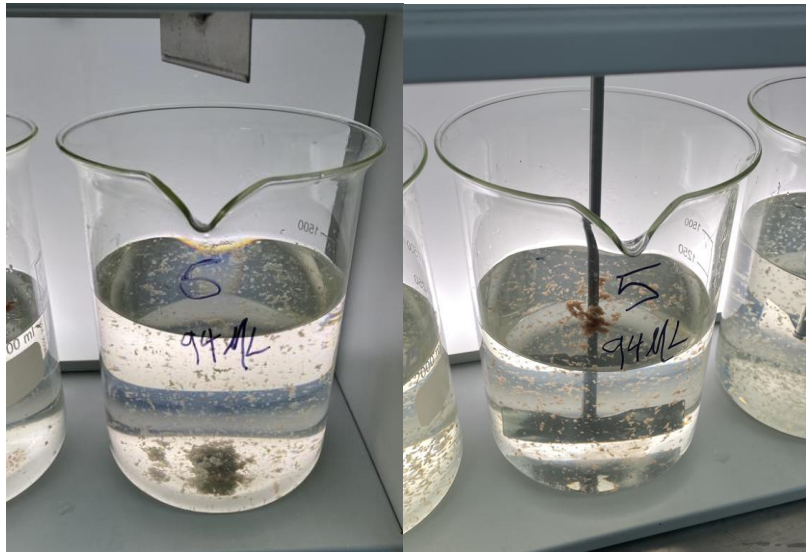
Ajuste Floculación

Jarra	Ácido Sulfúrico 6N (ML)	Ph final
Jarra 1	24	2,94
Jarra 2	23	3,23
Jarra 3	25	2,62
Jarra 4	25,3	2,47
Jarra 5	23	2,90
Jarra 6	22	3,21

Nota. Dosificación de floculante.

Después de realizado el ajuste de pH se observa un incremento en el tamaño de partícula en los flocs suspendidos en cada vaso, como se logra evidenciar en la Figura 29.

Figura 29. *Flocs Suspendidos*



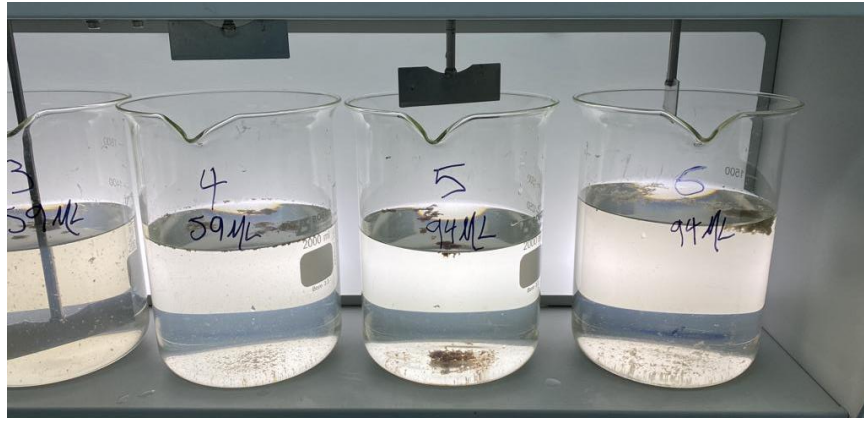
Nota. Aparición de flocs.

5.2.13. Sedimentación

En este nuevo proceso de sedimentación se busca obtener la mayor cantidad de sedimentos en el fondo de los vasos, estableciendo un tiempo de 60 minutos para este proceso como se observa en la Figura 30.

Figura 30.

Tiempo de Sedimentación



Nota. Tiempo de sedimentación.

Una vez transcurrido este tiempo se pueden observar en las Figura 31 los sólidos sedimentados para cada muestra

Figura 31.

Flocs Sedimentados en Jarras



Nota. Flocs obtenidos.

Estos solidos de mayor tamaño y sedimentados obtenidos para cada muestra se retiran mediante el uso de una pipeta, en cada una de las muestras correspondientes, sin embargo, se evidencio visualmente que para la jarra número 1 se obtuvo un mejor resultado de proceso de floculación como se logra apreciar en la Figura 32.

Figura 32.

Jarra 1



Nota. Flocs obtenidos para la jarra 1.

Los sólidos retirados de cada muestra se observan en la Figura 33. Sin embargo, es de gran importancia mencionar que los sólidos de menor tamaño de partícula aún suspendidos en las muestras, serán retirados y separados en la siguiente etapa.

Figura 33.

Sólidos Separados



Nota. Sedimentos retirados.

5.2.14. Filtración

Como última etapa en el proceso de separación se realiza la filtración, con el fin de remover sólidos suspendidos todavía presentes en el agua y así mejorar su turbidez. Este proceso se realiza por medio de un filtro de lechos elaborado de manera experimental, con un tubo de PVC de 2" de diámetro y 30 cm de largo como se logra ver en la Figura 34. Para los lechos se empleó algodón, gravilla y carbón activado, como se observa en la Figura 35., en un 70% del tubo, esto no solo favorece la turbidez sino también la coloración que aún se encuentre presente.

Figura 34.

Filtro de Lechos



Nota. Montaje de filtro.

Figura 35.

Lechos para el filtro



Nota. Representación de lechos.

Una vez realizada la filtración se toma la muestra y se hace la caracterización final del agua ya tratada, así como también los análisis de metales pesados.

5.3 Caracterización Final

La caracterización final para el agua tratada se realiza bajo las mismas condiciones de la caracterización inicial, gracias a la colaboración del personal de la fuerza aérea colombiana, se tuvo acceso al laboratorio de calidad de aguas, de la Universidad Militar Nueva Granada, teniendo en cuenta lo establecido por el IDEAM.

Esta caracterización del agua tratada se realizó en su mayoría para cada una de las muestras, una vez obtenida la muestra de agua tratada de cada jarra se le realiza una caracterización final que comprende los siguientes parámetros:

5.3.1. Turbidez y colorimetría final

Estos parámetros se midieron para las 6 diferentes muestras mediante el uso de instrumentos de medición como fueron el espectrofotómetro y el turbidímetro.

Los resultados experimentales, se encuentran registrados en la Tabla 32.

Tabla 32.

Turbidez y colorimetría final

Parámetro				
Jarra	Volumen Dióxido (MicroL)	Color Aparente	Turbidez (NTU)	
1	118	17	1,72	
2	118	54	3,5	
3	59	30	1,78	
4	59	35	2,86	
5	94	44	3,33	
6	94	50	5,86	

Nota. Resultados para estos parámetros.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para estos parámetros fisicoquímicos, se puede afirmar visualmente que la muestra número 1, la cual se evaluó con un volumen de 118 microlitros de dióxido de cloro como oxidante, evidencia una mayor ausencia de color y menor turbidez, en comparación con las demás muestras.

3.2.1. DBO5

El cálculo del DBO5 se tomaron 4 muestras en total, dos de ellas correspondientes a los blancos y dos muestras con 2.5 y 5 mL de agua tratada. Se hace una lectura inicial del oxígeno disuelto por medio de un oxímetro y una medición posterior a 5 días de incubación, con el fin de determinar el valor de este parámetro. Los resultados experimentales para esta medición se encuentran registrados en la Tabla 33.

Tabla 33.

DBO5 final

Muestra (L)	DBO5	
	inicial mg/L	final mg/L
Blanco 1	6,69	3,19
Blanco 2	6,71	3,82
0,0025	6,83	2,58
0,005	6,85	3,36

Nota. Medición de DBO5.

Una vez realizado el cálculo (Ver Anexo 7. Cálculos) se obtuvo el resultado expuesto en la ecuación 12.

Ecuación 12. DBO5 final

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{l} = 84,0910 \frac{mg}{L}$$

3.2.2. DQO

La medición de este parámetro se realizó para cada una de las seis muestras y por duplicado para cada una, el método empleado para la determinación de esta propiedad fue el método FAS, explicado anteriormente. Los valores obtenidos para cada titulación, se encuentra registrados en la tabla 34.

Tabla 34.*DQO final*

DQO	Método FAS	DQO Final
Muestra	V titulación (mL)	(mgO ₂ /L)
B1	2,74	-
B2	2,85	-
118 1	2,08	224
118 1	2,11	
118 2	2,18	206,4
118 2	2,12	
94 1	2,08	219,2
94 1	2,14	
94 2	2,05	232
94 2	2,09	
59 1	2,17	219,2
59 1	2,05	
59 2	1,96	286,4
59 2	1,84	

Nota. Resultados registrados para cada jarra.

Después de realizar el cálculo pertinente (Ver Anexo 7. Cálculos) se obtuvo el resultado que se muestra en la ecuación 13.

Ecuación 13. DQO final

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = 224 \frac{mgO_2}{L}$$

Este valor final obtenido corresponde a un porcentaje de remoción en comparación con el inicial de 39.4%.

3.2.3. Grasas y aceites

La medición de esta propiedad fisicoquímica se realizó después de una extracción soxhlet pesando el residuo obtenido luego de la evaporación de la muestra. Los datos obtenidos para este parámetro se registraron en la Tabla 35.

Tabla 35.

Grasas y aceites final

Grasas y Aceites		
V muestra	1000	mL
W inicial	164,647	g
W final	164,638	g
TOTAL, grasas (mg/L)		9

Nota. Resultados registrados para este parámetro.

Realizado el cálculo (Ver Anexo 7. Cálculos) dio como resultado el valor que se muestra en la ecuación 14.

Ecuación 14. *Grasas y aceites final*

$$GyA \frac{mg}{L} = 9 \frac{mg}{L}$$

En comparación con el valor de la caracterización inicial el porcentaje de remoción obtenido de este parámetro fue de 91,58%

3.2.4. Solitos totales

Los sólidos totales de la muestra de experimentación se determinaron después del secado en baño maría de 50 mL de agua tratada, los resultados finales para esta propiedad se encuentran registrados en la Tabla 36

Tabla 36.

Solidos totales

Solidos Totales - 50mL		
W inicial	67983,8	mg
W final	67985,2	mg
W solidos	28	mg/L

Nota. Valor obtenido para este parámetro.

El valor resultante del cálculo (Ver Anexo 7. Cálculos) ese puede apreciar en la ecuación 15.

Ecuación 15. ST total

$$St = 28 \text{ ppm}$$

El porcentaje de remoción para este parámetro fue del 99,53% el cual representa una extracción de sólidos funcional.

5.4 Análisis de metales pesados

Para un correcto vertimiento de aguas residuales a las fuentes hídricas principales se debe realizar un riguroso tratamiento de remoción de metales pesados, en el taller de electroquímica de la base aérea CAMAN se realizan recubrimientos electroquímicos con diferentes metales pesados, los cuales generan residuos en las aguas con las que se tratan las piezas de las aeronaves.

Luego de aplicar el tratamiento de remoción seleccionado se debe realizar pruebas de laboratorio para determinar las cantidades resultantes de metales pesados, y así mismo tener en cuenta que los valores de metales presentes en el agua, estén dentro de los rangos establecidos por la norma que rige este tipo de vertimiento (resolución 0631 de 2015).

Para este proyecto de investigación se hizo una caracterización inicial de metales pesados que se puede evidenciar en la tabla 35, posteriormente se hace este mismo análisis para el agua ya tratada. Se tuvo en cuenta el valor obtenido para las propiedades fisicoquímicas, que tuvieron una lectura inmediata para determinar la muestra de agua, como turbidez y colorimetría, a la cual se le realizaron los análisis.

Los análisis de laboratorio para metales iniciales y finales se realizaron en el laboratorio SGI Hidrocarburos S.A.S. (Ver Anexo 9) del cual se obtuvo los resultados presentes en la tabla 37. Adicionalmente se presenta el porcentaje de remoción correspondiente para cada metal, respecto a los valores iniciales

Tabla 37.*Análisis metales pesados*

Parámetros	Agua tratada 2022	% remoción	Valores de Resolución 0631 de 2015
Cianuro total (ppm)	<0,050	-	0,1
Cadmio (ppm)	48,1	2,82%	0,05
Cromo total (ppm)	0,057	99,40%	0,5
Níquel (ppm)	6,39	45,85%	0,5
Plomo (ppm)	0,057	93,17%	0,2
Fenoles (ppm)	<0,03	<40%	0,2

***parámetros que incumplen la normal 0631 del 2015**

Nota. Resultados para análisis de metales.

Este análisis de metales pesados nos permite conocer si el proceso de separación propuesto mediante el dióxido de cloro como oxidante fue efectivo, principalmente el dióxido se usa en la primera etapa del tren de separación en donde se realiza la reducción y oxidación de cianuros en donde se puede concluir que esta remoción no es significativa porque en la etapa inicial hay un bajo porcentaje de presencia de cianuros, así como también en la etapa final, a diferencia de la etapa 2 en donde se hace la reducción y oxidación del cromo (Cr), en el cual se registró un porcentaje de remoción del 99.40% mediante la adición del metabisulfito de sodio, demostrando así, alta efectividad para la remoción de este metal en específico. Además, el valor final de este metal se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma, para el vertimiento de aguas residuales no domésticas. Sin embargo, para metales como el cadmio y el níquel no se registra un cumplimiento de la norma, ni un porcentaje efectivo de remoción en comparación con las cantidades registradas inicialmente.

Teniendo en cuenta la información recopilada, implica que, para este trabajo de grado y experimentación realizada en conjunto, la etapa tres correspondiente a la precipitación de esos metales se debe reconsiderar las condiciones a las cuales se realiza este procedimiento. Parámetros

como el plomo y fenoles presentes presentan un buen porcentaje de remoción como se evidencia en la tabla 35, además de estar en los rangos permitidos para su vertimiento según la norma.

6. COMPARACIÓN DE LOS REGISTROS PREVIOS REFERENTES AL TRATAMIENTO Y LOS OBTENIDOS CON DIÓXIDO DE CLORO DE MANERA EXPERIMENTAL

En el taller de electroquímica de la base aérea CAMAN a lo largo de los años se han realizado diferentes pruebas para comprobar la remoción de metales pesados para cada tratamiento de aguas realizado, en la tabla 38 se encuentran registrados los valores obtenidos para cada análisis desde el año 2017 2018 2019 y actualmente en el 2022, los valores registrados para cada parámetro corresponden a las muestras de agua cruda residuales del taller de electroquímica.

Tabla 38.

Caracterización inicial de aguas

Parámetros	Entrada de agua 2017	Entrada de agua 2018	Entrada de agua 2019	Entrada de agua 2022	Valores de Resolución 0631 de 2015
Cianuro total (ppm)	1.22	25.37	7.53	< 0.050	0.1
Cadmio (ppm)	4.01	88.1	3.57	49.5	0.05
Cromo total (ppm)	5.29	134.22	14	9.49	0.5
Níquel (ppm)	9.02	236.53	3	11.8	0.5
Plomo (ppm)	4.45	16.32	0.086	0.835	0.2
Fenoles (ppm)	<0.10	0.51	<0.049	0.050	0.2
DBO5 (mgO2/L)	1203	189	501.33	86.5327	100
DQO (mgO2/L)	625	291	587.2	369	250
Grasas y aceites (ppm)	100	93	103.4	107	10
Solidos Suspendidos Totales (SST)(ppm)	1253	5028	4053.33	5920	50

Nota. Tabla comparativa de análisis de metales.

En comparación con los valores establecidos por la resolución 0631 del 2015 en su mayoría estos parámetros incumplen la norma para los vertimientos de aguas residuales no domésticas. En comparación con el proceso actual realizado en este taller se propuso reemplazar el oxidante de este por el dióxido de cloro y así realizar una comparativa en cuanto a resultados obtenidos después de la aplicación de este tren de separación. La tabla 39 muestra los datos obtenidos posterior a la aplicación del tren de tratamiento con dióxido de cloro como oxidante además se presenta una comparativa en cuanto a los valores obtenidos para cada uno de los parámetros en la salida del agua tratada en el 2019.

Tabla 39.

Caracterización final de agua tratada

Parámetros	Salida de agua 2019	Salida de agua 2022	Valores de Resolución 0631 de 2015
Cianuro total (ppm)	<0,427	<0,050	0,1
Cadmio (ppm)	0,017	48,1	0,05
Cromo total (ppm)	0,064	0,057	0,5
Níquel (ppm)	0,063	6,39	0,5
Plomo (ppm)	-	0,057	0,2
Fenoles (ppm)	-	<0,03	0,2
DBO5 (mgO2/L)	0,1513	84,09	100
DQO (mgO2/L)	28,8	224	250
Grasas y aceites (ppm)	9,7	9	10
Solidos Suspendidos Totales (SST)(ppm)	6,67	28	50

*parámetros que incumplen la normal 0631 del 2015

Nota. Caracterización final para el año 2019 y 2022.

El proceso actual es decir el establecido en el 2019 en el cual emplean el oxidante peróxido de hidrógeno hipoclorito de sodio presenta un cumplimiento en los límites establecidos por la resolución 0631 de 2015 por el contrario el tren de separación propuesto con dióxido de cloro

comerciante a pesar de presentar buenos resultados en cuanto al cianuro cromo total plomo fenoles y otros parámetros fisicoquímicos presenta un incumplimiento en los valores obtenidos para metales pesados como lo fueron el cadmio y níquel. Por lo cual se recomienda realizar una revisión técnica teórica y experimental para lograr mayores presentes de remoción de los metales anteriormente mencionadas y un cumplimiento en la norma de vertimientos, implementando el dióxido de cloro como oxidante principal en el tren de separación para la remoción de metales pesados.

7. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON DIÓXIDOS DE CLORO

Para realizar un análisis de costos se determina la capacidad de tratamiento a escala de la planta de tratamiento. En la tabla 40 se puede evidenciar la cantidad de sustancias químicas se van a emplear para esta propuesta en la plata. La determinación de estas cantidades se puede verificar en el Anexo 8 correspondiente a los cálculos de la escala a planta.

Tabla 40

Materia prima de tratamiento

Materia Prima	Cantidad para tratamiento de 5.000L
Ácido sulfúrico 98%	1,24 L
Hidróxido de sodio 98%	11 kg
Dióxido de cloro 1700 ppm	0,35
Metabisulfito de sodio 96%	1 kg
Floculante aniónico 0,1%	0,625 kg
Agua	30,33 L

Nota. Materias primas empleadas en el tratamiento.

El caudal inicial del tratamiento es de 5000 litros, para determinar el caudal final y la capacidad de tratamiento para este sistema se realiza el siguiente balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$F_{H_2O (in)} + F_{reactivos} = F_{H_2O (out)} + F_{lodos}$$

$$F_{H_2O (in)} * \rho_{H_2O (in)} + F_{reactivos} * \rho_{reactivos} = F_{H_2O (out)} * \rho_{H_2O (out)} + F_{lodos} * \rho_{lodos}$$

$$F_{H_2O (in)} * \rho_{H_2O (in)} + F_{H_2SO_4} * \rho_{H_2SO_4} + F_{NaOH} * \rho_{NaOH} + F_{Cl_2O_2} * \rho_{Cl_2O_2} +$$

$$F_{Na_2S_2O_5} * \rho_{Na_2S_2O_5} + F_{Polimero} * \rho_{Polimero} \\ = F_{H_2O (out)} * \rho_{H_2O (out)} + F_{lodos} * \rho_{lodos}$$

Se puede evidenciar el balance de materia para el proceso en cuestión donde lo que se busca es el caudal de salida del agua tratada, ya que se sabe que la inicial se trabaja con un lote de 5000L por lo cual se conocen los siguientes datos:

$F_{H_2O (in)}$: Flujo de agua residual de entrada (5.000 L)

$\rho_{H_2O (in)}$: Densidad agua residual (1,025 kg/L)

$F_{H_2SO_4}$: Flujo de ácido sulfúrico (1,24 L)

$\rho_{H_2SO_4}$: Densidad ácido sulfúrico (1,84 kg/L)

F_{NaOH} : Flujo de hidróxido de sodio (11 L)

ρ_{NaOH} : Densidad hidróxido de sodio (2,13 kg/L)

$F_{Na_2S_2O_5}$: Flujo metabisulfito de sodio (1 L)

$\rho_{Na_2S_2O_5}$: Densidad metabisulfito de sodio (1,2 kg/L)

$F_{Polimero}$: Flujo de polímero aniónico (26,054 L)

$\rho_{Polimero}$: Densidad polímero aniónico (0,8 kg/L)

$F_{H_2O (out)}$: Flujo agua residual tratada

$\rho_{H_2O (out)}$: Densidad agua tratada (1,025 kg/L)

F_{lodos} : Flujo de lodos (1,27 L)

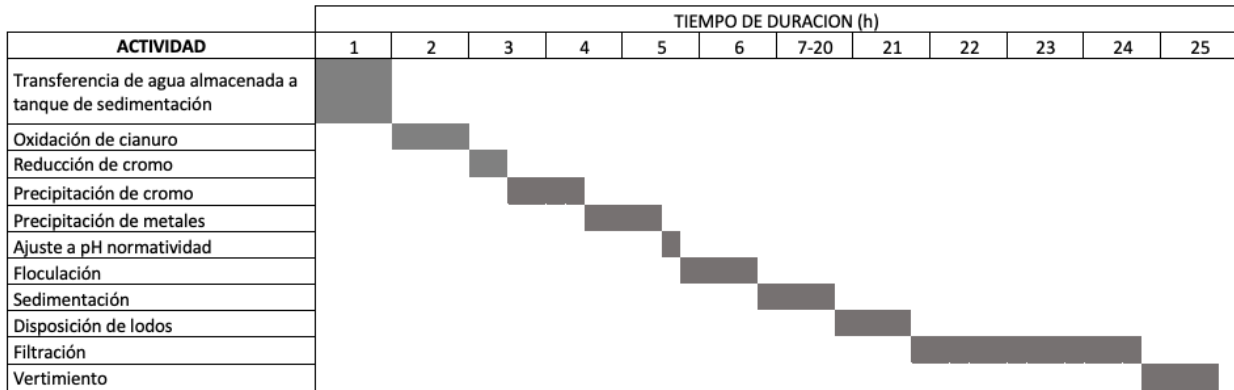
ρ_{lodos} : Densidad de lodos (1,27 kg/L)

Con estos datos se obtiene que el caudal de salida de la planta es de 5045,58L que corresponde al agua de vertimiento.

Haciendo uso de la herramienta de diagrama de Gantt se logró determinar el tiempo de operación para el sistema propuesto con el dióxido de cloro como oxidante, es un sistema por lotes con una duración total de 24,7 horas, como se evidencia en la tabla 41.

Tabla 41

Diagrama de Gantt



Nota. Tiempos de operación de planta

Una vez realizado este diagrama y determinado el tiempo de operación, se procede a calcular la capacidad instalada de la planta. En la tabla 42 se muestran los tiempos de retención estipulados para el proceso de separación propuesto.

Tabla 42*Tiempo de retención para la propuesta*

Proceso	Tiempo de Retención (h)
Transferencia de agua almacenada a tanque de sedimentación	1
Oxidación de cianuro	1
Reducción de cromo	0,5
Precipitación de cromo	1
Precipitación de metales	1
Ajuste a pH normatividad	0,2
Floculación	1
Sedimentación	13
Disposición de lodos	2
Filtración	3
Vertimiento	1
Total	24,7
Capacidad instalada	0,324

Nota. Duración de cada etapa propuesta.

Se tiene en cuenta los tiempos de retención para el proceso de remoción de metales empleado actualmente y así realizar una comparación de la capacidad instalada para ambos procesos. La tabla 43 muestra los tiempos de retención y capacidad instalada del tren de separación que se usa actualmente en la planta.

Tabla 43*Tiempos de retención para el proceso actual*

Proceso	Tiempo de Retención (h)
Transferencia de agua almacenada a tanque de sedimentación	1
Oxidación de cianuro	2,5
Reducción de cromo	1
Precipitación de cromo	1,5
Precipitación de metales	1,5
Ajuste a pH normatividad	0,2
Floculación	0,5
Sedimentación	15
Disposición de lodos	2
Filtración	3
Vertimiento	1
Total	29,2
Capacidad instalada	0,274

Nota. Tiempos de retención. Tomado de. Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Proceso Del Taller De Electroquímica Perteneciente A La Fuerza Aerea Colombiana Madrid Cundinamarca [en línea] <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>

Como se logra evidenciar con los datos de la capacidad instalada, obtenemos una mejora en este valor en comparación con el actual, ya que se reduce el tiempo en los procesos, presentando una pequeña variación que ayuda a que el proceso logre ser más rentable a través del tiempo debido a que se pueden realizar los tratamientos con más continuidad y aumentar la capacidad de trabajo de la PTAR. La jornada laboral es de 8 horas y el proceso de sedimentación del floc es el que toma más tiempo, este también presenta una ligera disminución.

El costo de operación para el proceso y la alternativa del dióxido de cloro como oxidante, se obtiene teniendo en cuenta los costos de materia prima, costos de servicios de operación de la

planta y el costo de los tratamientos de lodos. Se toman todos estos ya que no se generan variaciones en los equipos de la planta por lo cual no se verán reflejados costos de inversión, así mismo no se ven costos por sanciones ambientales ya que del procedimiento anterior ya se cumple la norma, solo se está evaluando la eficiencia económica que tiene el dióxido de cloro.

Para los costos de operación, se tuvo en cuenta los costos por tratamiento, escalando estos a el número de tratamientos al mes para así obtener un valor anual (Ver Anexo 9). En el taller de electroquímica se realizan entre 3-5 tratamientos al mes donde se tendrá en cuenta el valor mayor, es decir:

$$\text{Costo anual} = \text{Valor Unit} * \text{Cantidad tratamiento} * \text{Número tratamientos mes} * 12 \text{ meses}$$

7.1 Costos de materia prima

La materia prima corresponde a los insumos utilizados durante el tratamiento y a los materiales utilizados para el sistema de filtración relacionados en la tabla 44 y tabla 45.

Tabla 44.

Costos Materia Prima

Materia prima	Valor Unitario (\$)	Cantidad tratamiento	Valor por Tratamiento (\$)	Valor Mensual (\$)	Valor Anual (\$)
Ácido sulfúrico 98% (L)	50.000	1,24	62.000	186.000	2.232.000
Hidróxido de sodio 98% (kg)	8.400	11	92.400	277.200	3.326.400
Dióxido de cloro 1700 ppm (L)	1.885	0,35	659,75	1.979,25	23.751
Metabisulfito de sodio 96% (kg)	4.100	0,625	2.562,5	7.687,5	92.250
Floculante aniónico (Kg)	35.000	0,025	875	2.625	31.500
Total					5.705.901

Nota. Análisis de costos generales para el proyecto.

Tabla 45.*Costos sistemas de filtración*

Materia prima	Valor Unitario (\$)	Cantidad tratamiento	Valor por Tratamiento (\$)	Valor Mensual (\$)	Valor Anual (\$)
Arena para filtro	760	5	3.800	19.000	228.000
Grava para filtro	1240	5	6.200	31.000	372.000
Total					600.000

Nota. Costos para realización del filtro.

En conclusión, se puede afirmar que el costo total de materia prima para el proceso es de \$6.305.901 siendo este el valor base a tomar en cuenta para el proceso.

7.2 Costos servicio público.

Para el proceso y sus costos de operación se tiene en cuenta los costos de servicio donde se encuentra el costo de la energía eléctrica, en el cual se analiza cuanto consumen de energía los equipos que trabajan en la planta, sabiendo que el valor por kW es de \$569,35 y agua de servicio para la preparación de soluciones y para el retro lavado de los filtros.

Tabla 46.*Costo Equipos de Proceso*

Equipo	Unidades	Tiempo	Potencia	Costo Anual por unidad	Costo anual total
Bombas dosificadoras	6	1	0,015	512,42	6.148,98
Bombas centrifugas	2	1	0,37	2106,60	25.279,14
Bomba sumergible	1	1,5	0,75	32.700,56	32.700,56
Agitador mecánico	1	3	0,158	13.650,23	13.650,23
total					77.778,91

Nota. Análisis y balance de consumo de energía para el proceso.

Tabla 47.*Costo Servicios Públicos*

Agua de servicio	Valor Unitario(\$/L)	Cantidad Tratamiento (L)	Valor por Tratamiento (\$)	Valor Mensual (\$)	Valor Anual (\$)
Preparación soluciones	3.81	60.76	231,50	1157.48	13889,74
Retrolavado	3.81	300	1143	5,715	68580
Total	150.000	0,000118	17,7	88,5	82469,74

Nota. Valoración de servicios públicos utilizados.

En conclusión, se puede afirmar que el costo total de servicio es de \$160.248,65

7.3 Costo tratamiento de lodos.

Para el tratamiento de lodos la empresa Ambiente & Soluciones S.A.S se encarga de la disposición de estos, los costos que implican estos son \$3.500 por kilogramo de lodo residual, por tanto, teniendo en cuenta que por tratamiento se disponen aproximadamente de 1,619 kg, y que estos son recogidos por la empresa cada 4 meses.

Tabla 48.*Tratamiento de Lodos*

Cantidad de lodo por tratamiento (Kg)	Costo disposición lodo (\$/kg)	Costo disposición por tratamiento (\$)	Costo disposición anual
1,619	3.500	5.484,5	339.990

Nota. Valoración a terceros para el tratamiento de lodos.

A través de la determinación de los costos de operación del proceso y comparado con los estudios anteriores, se logra determinar una pequeña disminución de estos usando el dióxido de cloro como oxidante respecto a la cantidad ya usada, debido a que este solo es una materia prima. La falencia

se ve al evaluar los demás componentes utilizados en la línea, ya que se requiere de más cantidad en los procesos de oxidación de cromo, además de la subida del precio del ácido sulfúrico para la oxidación de cianuros y los ajustes de pH necesarios de cromo que son vitales para cumplir con los parámetros establecidos por el IDEAM para el vertimiento de estas aguas.

También se analiza el uso de un solo oxidante correspondiente al dióxido de cloro a comparación de los usados anteriormente que son el Peróxido de Hidrógeno y el Hipoclorito de calcio.

Cabe aclarar que el proceso ha sido optimizado para la cantidad de materia prima de las aguas residuales a tratar, teniendo un batch de 5000L (valor que no varía respecto al 2019) y un total de 3 tratamientos al mes, 2 menos que en el 2019.

Se encontró que al trabajar con el dióxido de cloro los cambios de pH se presentaban con mayor dificultad y debido a esto, se requería de más cantidad de materia prima.

En el caso del ácido sulfúrico se ve una disminución de la cantidad de 2,29 L durante el tratamiento, pero no es una variable que nos indique a totalidad un cambio significativo ya que el precio reportado en la tesis de investigación “propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso del taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana Madrid-Cundinamarca” es de \$ 1.809 pesos por litro mientras que en la actualidad el precio equivale a \$50.000 pesos por litro en los laboratorios autorizados para la distribución de este componente, presentando un aumento de más de 27 veces en su valor comercial. Si ponemos el precio actual en la cantidad usada en el 2019 para tener un margen de comparación encontramos que el valor anual es de \$6.348.600, mientras que para el tren realizado en el trabajo es de \$2.232.000. Evidenciando con esto que así el precio haya subido si se realiza la equivalencia encontramos el proceso como rentable, con una reducción del 35,15% en los costos de esta materia prima.

En el hidróxido de sodio se demuestra lo anterior mencionado en relación con el pH, hallando que es necesario el doble del producto. El valor del 2019 con el precio actual es de \$703.080 y el del 2022 es de \$3.326.400 esto de igual manera tomando una base de cálculo con los números de

tratamiento que se realizan en la planta a día de hoy. (462%). Teniendo un aumento de \$2.623.320 este valor nos muestra una subida del más del 400% comparado con el tratamiento pasado.

Para el oxidante hay un margen de descenso en los costos debido a la utilización de menor cantidad de materias primas implicadas, en el 2019 tienen un costo total anual de \$135.360 a comparación de los \$23.751 que cuesta el dióxido de cloro para la separación, es importante tener en cuenta que se debe realizar una revisión en la etapa de precipitación de metales ya que al no obtener los resultados esperados, y en búsqueda de que esto sea un proceso efectivo se necesita además de una revisión teórica mayor experimentación en el laboratorio para determinar las cantidades necesarias de cada materia prima implementada en el proceso. Por otro lado, es importante recalcar que la cantidad implementada de metabisulfito de sodio en el proceso de separación de metales pesados fue idónea para lograr un porcentaje de remoción de Cromo alto y eficiente.

Para finalizar el floculante se usa en misma cantidad, con la única diferencia en su precio. Teniendo un valor constante e la variación de este siendo un parámetro poco relevante para analizar.

Al analizar la variación que se presenta en los precios de las materias primas pasados 3 años, es necesario hablar de los tiempos de operación de la planta, debido a que, al disminuir ciertos pasos en la operación, se logra un ahorro de los costos energéticos. En conclusión, el proceso se ve rentable financieramente al evaluar la eficiencia de este.

8. CONCLUSIONES

En el proceso de diagnóstico del tren de separación aplicada actualmente en las aguas residuales del taller de electroquímica de la base aérea de Madrid-Cundinamarca demostró ser un proceso eficiente según los resultados obtenidos en el proyecto de investigación propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana Madrid-Cundinamarca ya que este cumple con lo estipulado en la resolución 0631 del 2015.

Según la revisión teórica, la documentación revisada, la ficha técnica proporcionada para esta investigación y la información proporcionada por la empresa proveedora del dióxido de cloro (EGESTEC), se logran reunir todos los requerimientos técnicos de manipulación del oxidante principal para este proceso, estableciendo los pH óptimos en un rango de 8-11, temperatura menor a 20°C debido a la alta volatilidad del compuesto y demás propiedades adecuadas de operación, en búsqueda de condiciones óptimas para la aplicación del dióxido de cloro en el proceso de remoción de metales pesados, asimismo obtener los mejores resultados mediante el uso de éste en la experimentación.

Para el desarrollo del proceso de separación de metales pesados, implementando el dióxido de cloro como oxidante se puede concluir tanto experimentalmente como teóricamente que los resultados obtenidos de remoción de metales pesados están divididos en 2 postulados diferentes. por un lado, los porcentajes de remoción obtenidos para cianuros, fenoles, cromo y plomo (<40%, 99,40%, 93,17%, respectivamente) son buenas según los resultados obtenidos en el laboratorio y se encuentran dentro de límites establecidos, por otro lado, para metales como el cadmio y el níquel no se obtuvo un alto porcentaje de remoción de metales (2,82% y 45,85% respectivamente) y tampoco cumplimiento a la regulación de vertimientos. Este resultado se le puede atribuir la falta de información de la implementación del dióxido de cloro en la remoción de metales pesados en específico, lo cual hace que para el uso de este oxidante en este campo se apele a la experimentación con el mismo. También puede atribuirse a errores en medición y manipulación de equipos en el laboratorio. El filtro implementado experimentalmente presentó una mejoría en las propiedades fisicoquímicas como lo fueron la colorimetría y turbidez.

Se realizó una comparación entre los registros previos obtenidos en la planta de tratamiento para el agua cruda y para el agua tratada; en los registros obtenidos para el agua cruda se pudo

observar una disminución en la presencia de metales pesados, gracias a que la muestra recolectada es una muestra compuesta, depende de la cantidad de actividad que se realice en el taller. Respecto a los resultados obtenidos para el agua tratada se evidencia que, para el proceso de tratamiento actual, de manera general, presenta resultados eficientes respecto a el proceso en el cual se implementa el dióxido de cloro ya que hubo bajos porcentajes de remoción de metales pesados para el cadmio y el níquel.

El análisis de costos presentó variaciones respecto a las del proceso actual, primordialmente en que la implementación de este sólo altera los costos respecto a la materia prima usada. Solo El dióxido de cloro cumple con la función realizada por los dos oxidantes en el proceso actual, lo que conlleva a una disminución en costos y en materia prima representando una disminución en el costo para la etapa de oxidación y reducción de cianuro. Sin embargo, el dióxido de cloro en el proceso requiere mayor cantidad de materia prima para ajustar los pH aumentando así el costo de materia prima.


BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. C. Reyes, I. Vergara, O. E. Torres, M. Díaz, and E. E. González, “Heavy metals contamination: implications for health and food safety,” vol. 16, pp. 66–77, 2016.
- [2] A. Camila and R. Pulido, “diagnóstico de la operación de la planta de tratamiento de agua residual (ptar), del municipio de Madrid Cundinamarca.”
- [3] R.A Deininger and A. Ancheta, “Dióxido de cloro,” 2018.
- [4] P. Martínez and J. Peña, “propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso del taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana Madrid - Cundinamarca,” Fundación universidad de América, Bogotá D.C, 2019.
- [5] D. Caviedes, R. Muñoz, A. Perdomo, D. Rodríguez, and I. Sandoval, “Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una Revisión,” 73-90, Bogotá, May 16, 2015.
- [6] minambiente, *ministerio de ambiente y desarrollo sostenible resolución 0631*. Colombia, 2015.
- [7] SYNERTECH, “Oxidación química y avanzada para aguas residuales industriales,” 2020.
- [8] M. García and C. Castro, “Evaluación del Dióxido de cloro (ClO₂) como agente oxidante para la remoción de grasas en aguas provenientes de la industria de beneficio de pollos,” *Ciencia Unisalle*, vol. Ingeniería Ambiental, Jan. 2011.
- [9] M. DE Ambiente Y Desarrollo Sostenible, “resolución 631 de 2015”.
- [10] FAC, “fuerza aérea colombiana,” 2000.
- [11] T. Loja, “Diseño a escala piloto de un sistema de eliminación de fenoles en aguas residuales de una empresa textil empleando dióxido de cloro.”
- [12] C. Rodríguez, “demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría,” *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 2007.
- [13] J. Barrientos and J. Medina, “Estudio de la reacción de oxidación química de cianuro para tratamiento de aguas residuales de una empresa Minera”, Universidad EAFIT, 2018.


ANEXOS

ANEXO 1.


REPORTE DE RESULTADOS (CARACTERIZACIÓN INICIAL)



Asinal
Laboratorio




INNOVA
Pruebas y Tratamiento 2013



IDEAM
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

Laboratorio acreditado
NTC-450/IEC-17025:2005
mediante Resolución
número 0076/2014-2017



ACOP1
Premio Nacional
PYME
Producción Innovadora
2008

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA No. 1106213 REG-REA-094 Versión 4.0

INFORMACION DEL CLIENTE

Empresa	Comando aereo de Mantenimiento - FAC	Ciudad y Fecha	Bogota D.C., 2017/11/09 10:16
Nit	800.141.641-8	Teléfono	Fax 0
Dirección	MADRID, CUNDINAMARCA	E-mail	

INFORMACION DE LA MUESTRA

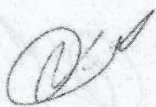
Muestra: Agua residual industrial. Entrada Planta de Tratamiento de recubrimientos electrofílicos.

Fecha recepción	2017/10/05	Características	Muestra Ambiental	Tipo Envase	Empaque plástico, vidrio, ambar
Fecha Elaboración		Temperatura °C	4,2	Tamaño Muestra	6250 mL
Fecha Vencimiento		Método muestreo	Puntual	Norma	Resolución No.631 de 2015
Nro Lote		Sitio muestreo	Entrada Planta de Tratamiento	Muestreo por:	Empresa
Proveedor				Muestreo Fecha/hora:	2017/10/04 07:00

RESULTADOS

Parámetro	Resultado Fecha/Hora	Método	Resultado	Unidades	Especificaciones recomendadas		
					Inferior	superior	Cualitativo
Absorción atómica							
Cloruro	2017/06/14 10:06	S.M. 22st Edition 3114 C.	1,22	mg/L			
Bario	2017/06/16 07:06	S.M. 22st Edition 3111 D	0,20	mg/L			
Cadmio	2017/06/07 16:06	S.M. 22st Edition 3111 B.	4,01	mg/L			
Cromo	2017/06/09 12:06	S.M. 22st Edition 3111 B.	5,29	mg/L			
Mercurio	2017/06/13 11:06	S.M. 22st Edition 3112 B.	0,002	mg/L			
Niquel	2017/06/09 11:06	S.M. 22st Edition 3111B	9,02	mg/L			
Plata	2017/06/09 11:06	S.M. 22st Edition 3111B	<0,05	mg/L			
Plomo	2017/06/07 17:06	S.M. 22st Edition 3111 B.	4,45	mg/L			
Selenio	2017/06/14 12:06	S.M. 22st Edition 3114 C.	<0,002	mg/L			
Fisicoquímica							
DBO5	2017/06/07 10:06	SM 5210 B, ASTM D 889-05 C	1203	mgO2/L			
DQO	2017/06/06 09:06	S.M. 5230 C	625	mgO2/L			
Fenoles	2017/06/01 10:06	S.M. 22st Edition 5530B-C	<0,10	mg/L			
Grasas y Aceites	2017/06/01 09:06	SM 22nd Edition 5520 D	100	mg/L			
pH	2017/06/16 07:06	Electrometrico	4,24	Unidades			
Sólidos Sedimentables (SSED)	2017/06/07 14:06	SM 22nd Edition 2540 F	1,9	mg/L			
Sólidos Suspendidos Totaes (SST)	2017/06/01 15:06	SM 22nd Edition 2540 D	1253	mg/L			

Los resultados son válidos solo para la muestra en referencia y para los ensayos realizados. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin previa autorización escrita por parte de Asinal Ltda.
A Parámetros Acreditados, S Parámetros Subcontratados



Belisario Acevedo D. Ph.D.
Director técnico

www.asinal.com - Tel: +57(1) 605-3555 Fax: 7202144 - Calle 10 Sur No 41-27 (Ciudad Montes), Bogotá D.C. Colombia

SERVICIO NACIONAL E INTERNACIONAL (PANAMA, CENTROAMERICA, CARIBE, ECUADOR)

Fuente: Resultados laboratorio ASINAL

115

6.2.3 Muestreo Descarga Entrada PTAR electroquímica (1113333).




Tabla 8. Resultados de laboratorio, Comparación Normativa con la Resolución 631 de 2015

Parámetros	Unidades Expresadas	Reporte No. 1113333	Resolución 0631 de 2015.	Criterio
Temperatura.	°C	17.0	Ver informe.	Ver informe.
pH.	Unidades pH	6.49	6,00 a 9,00	Cumple
Caudal.	L/s	0,021	Ver informe.	Ver informe.
Sólidos Sedimentables (SSED).	mgSSED/L	110	1,00	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).	mgO2/L	189	50	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO).	mgO2/L	291	150	No Cumple
Sólidos Suspendidos Totales (SST).	mgSST/L	5028	50	No Cumple
Grasas y Aceites.	mg/L	93	10	No Cumple
Fenoles Totales.	mgFenol/L	0.51	0.20	No Cumple
Cianuro Total.	mgCN-/L	25,37	0,10	No Cumple
Cadmio.	mg Cd/L	88,10	0.01	No Cumple
Cromo Total.	mg Cr/L	134,22	0.10	No Cumple
Mercurio.	mg Hg/L	< 0,001	0.002	Cumple
Níquel.	mg Ni/L	236,53	0,10	No Cumple
Plata.	mg Ag/L	<0,05	0.5	Cumple
Plomo.	mg Pb/L	16,32	0,10	No Cumple
Bario.	mgBa/L	0,86	1,00	Cumple
Selenio.	mgSe/L	<0,002	0,20	Cumple
Arsénico	mg As/L	0.006	0.10	Cumple


Fuente: Laboratorios ASINAL

ANEXO 2

CARACTERIZACION AGUA TRATADA 2018

Laboratorio Acreditado
 NTC-ISO/IEC-17025:2005
 Mediante Resolución
 Número 2456 del 2017



AEGPI
 Premio Maestros
 PTMSE
 Productor Superstar
 2016

REG-REA-094 Versión 4.0

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA No. **1113454**

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Empresa Bioambiente Ingeniería S.A.S. NIT 830504411-9 Dirección Carrera 51 N° 51-08 OF 306 ED Romeral	Ciudad y fecha Bogotá, 2018-08-27 Teléfono 3014495477 Fax 0 Email bioambienteingenieria@gmail.com	Bogotá, 2018-08-27 Fax 0 Email bioambienteingenieria@gmail.com
--	---	---

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Muestra	Agua Residual no Doméstica - Salida PTAR electroquímica					
Fecha de recepción	2018-07-31	Características	ARnD	Tipo de Envase	Plástico, Vidrio y Ámbar	
Fecha de elaboración	N.A	Temperatura	4,2	Tamaño Muestra	4,250mL	
Fecha de vencimiento	N.A	Método de Muestreo	Puntual	Norma	Resolución 0631 de 2015	
No. Lote	N.A	Sitio de Muestreo	Vertimientos comando aereo caman fuerza aerea colombiana	Muestreo por	Alexander Romero	
Proveedor	N.A	Muestreo Fecha/Hora	2018-07-31	12:00 p. m.		

RESULTADOS

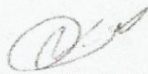
Parámetro	Resultado Fecha	Método	Resultado	Unidades	Especificaciones recomendadas		
					Inferior	Superior	Cualitativo
Físicoquímica							
Temperatura		SM 2550 B	Ver Informe	°C			Análisis y Reprote
pH		SM 4500-H+ B	Ver Informe	Unidades pH	Mínimo 6,0	Máximo 9,0	
Caudal		Volumétrico	Ver Informe	L/s			Análisis y Reprote
Sólidos Sedimentables (SSED)		Volumétrico - Cono Imhoff, SM 2540 F	Ver Informe	mgSSED/L		Máximo 1,00	
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	2018-08-03	Gravimétrico - secado a 103°C - 105°C, SM 2540 D	<2,5	mgSST/L		Máximo 50,00	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2018-08-01	Incubación a 5 días y Modificación de Azida, SM 5210 B, 4500 - O, C	19	mgO2/L		Máximo 50,00	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	2018-08-01	Reflujo cerrado y volumétrico, SM 5220 C	30	mgO2/L		Máximo 150,00	
Grasas y Aceites	2018-08-16	Extracción Soxhlet, SM 5520 D	<10	mg/L		Máximo 10,00	
Fenoles Totales	2018.08.09	Destilación - Extracción con cloroformo, SM 5530 B, C	0,24	mgFenol/L		Máximo 0,20	
Cloruro Total	2018.08.21	SM 4500- CN, B, C, E	0,46	mgCl-/L		Máximo 0,10	
Absorción Atómica							
Cadmio	2018-08-08	SM 3030 F, SM 3111 B	1,84	mgCd/L		Máximo 0,01	
Cromo Total	2018-08-09	SM 3030 F, SM 3111 B	2,50	mgCr/L		Máximo 0,10	
Mercurio	2018-08-06	Espectrofotometría de absorción atómica - vapor frío, SM 3112 B	<0,001	mgHg/L		Máximo 0,002	
Níquel	2018-08-13	SM 3030 F, SM 3111 B	6,21	mgNi/L		Máximo 0,10	
Plata	2018-08-13	SM 3030 F, SM 3111 B	<0,05	mgAg/L		Máximo 0,20	
Plomo	2018-08-13	SM 3030 F, SM 3111 B	0,15	mgPb/L		Máximo 0,10	
Bario	2018-08-17	SM 3030 F, SM 3111 D	0,05	mgBa/L		Máximo 1,00	
Selenio	2018-08-28	SM 3114 B, C	<0,002	mgSe/L		Máximo 0,20	
Arsénico	2018-08-15	SM 3114 B, C	<0,002	mgAs/L		Máximo 0,10	

Los Resultados son válidos sólo para las muestras en referencia y para los ensayos realizados. No se permite la reproducción parcial o total del Informe sin previa autorización escrita por parte de ASINAL S.A.S.
 A. Parámetros Acumulados. 5. Parámetros Subparámetros.

CALIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Laboratorio	Observaciones
Físicoquímica No Aceptable	Calidad Físicoquímica "No Aceptable", Parámetros que superan los límites establecidos por la resolución 0631 de 2015

Fenoles Totales
 Cloruro Total
 Cadmio
 Cromo
 Níquel
 Plomo



Belisario Acevedo D. Ph.D.
 Director Técnico

Fuente: Laboratorios ASINAL

ANEXO 3.

CARACTERIZACION INICIAL AGUA DE ENTRADA 2019

L. Q.
LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA.
Ambiente e Industria

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO



IDEAM
INSTITUTO DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y
ESTUDIOS AMBIENTALES
Laboratorio acreditado
NIC-ISO/IEC 17025:
2005 Resolución de
renovación y extensión
de acreditación N° 0459
de 2015. Resoluciones
de extensión de la
acreditación N° 0037 de
2016, 0010 y 1503 de
2017.

INFORME 4 OCA 1148-AG
3 de abril de 2019

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Señora
JESIKA ALEJANDRA PEÑA ANTONIO
Teléfono: 3115711570
Dirección: Carrera 7A N° 134B - 50
E-mail: jalejandra1806@gmail.com
Bogotá D.C.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

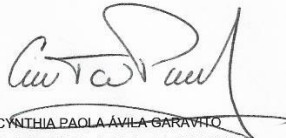
ORDEN DE SERVICIO: 7451
FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23 de marzo de 2019
MATRIZ: AR
FECHA DE MUESTREO: 21 de marzo de 2019
TIPO DE MUESTREO: Compuesto
PUNTO DE MUESTREO: Tratamiento Actual (uso de condiciones adecuadas)
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 19-AG1248
OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio

Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre
Cadmio total, Cd	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-01	1,78	±0.1207
Niquel total, Ni	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-02	3,34	±0.3751

SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017. (A.A.): Absorción Atómica. AR: Agua Residual.

NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada.
 NOTA 2: La reproducción total o parcial de este informe deberá ser autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda.
 NOTA 3: Las muestras serán eliminadas treinta (30) días después de haber sido recibidas.
 NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2.

Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.



CYNTHIA PAOLA ÁVILA GARAVITO
Química, Matricula Profesional PQ-5002
Coordinadora Técnica

Elaboró: Johan David Quiroga Alarcón
Revisó: Ninfa Yiseth Martínez Arevalo

FIN DEL INFORME

Página 1 de 1 Teléfonos: 403 08 13 - 273 84 87 Email: quim@laboratorioquimicontrol.com Web site: www.laboratorioquimicontrol.com. Dirección: Carrera 78 J # 40 B 52 sur. Bogotá.

Fuente: Laboratorios QUIMICONTROL LTDA



L. Q. LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA.
Ambiente e Industria

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO



IDEAM
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA,
METEOROLOGÍA Y
ESTUDIOS AMBIENTALES
Laboratorio acreditado
NTC-ISO/IEC 17025:
2005. Resolución de
renovación y extensión
de acreditación N° 0459
de 2015. Resoluciones
de extensión de la
acreditación N° 0097 de
2016, 0010 y 1503 de
2017.

INFORME 1 OCA 1148-AG
22 de marzo de 2019

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Señora
JESIKA ALEJANDRA PEÑA ANTONIO
Teléfono: 3115711570
Dirección: Carrera 7A N° 134B - 50
E-mail: jalejandra1806@gmail.com
Bogotá D.C.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

ORDEN DE SERVICIO: 7336
FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 11 de marzo de 2019
MATRIZ: AR
FECHA DE MUESTREO: 26 de febrero de 2019
TIPO DE MUESTREO: Compuesto
PUNTO DE MUESTREO: Entrada a la PTAR - Procesos Galvanicos
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 19-AG1013
OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio

Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre
Cianuro total, CN ⁻ **	mg/L	SM 4500-CN ⁻ F, Potenciométrico	2019-03-13	7,53	±0.7398
Fenoles totales	mg/L	SM 5530 B, C, Destilación - Extracción con cloroformo	2019-03-11	< 0,049	±0.0022
Plomo total, Pb	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-03-19	0,086	±0.0144
Plata total, Ag	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-03-16	0,006	±0.0003
Níquel total, Ni	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-03-19	3	±0.3368
Mercurio total, Hg ^{**}	mg/L	2. SM 3112 B, A.A. Vapor frío	2019-03-20	< 0,0007	±0.0001
Cromo total, Cr	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-03-16	14	±0.8056
Cadmio total, Cd	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-03-16	3,57	±0.2428

SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017. (A.A.): Absorción Atómica. (**): Variable que no se encuentra acreditada. (<): Menor que limite de cuantificación del método. AR: Agua Residual. Punto Muestreo: Entrada a la PTAR, Proveniente del taller de electro-química de procesos galvanicos.

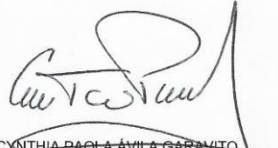
NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada.

NOTA 2: La reproducción parcial de este informe será autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda.

NOTA 3: Las muestras serán eliminadas treinta (30) días después de haber sido recibidas.

NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2.

Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.


CYNTHIA PAOLA ÁVILA GARAVITO
Química, Matriculada Profesional PQ-5002
Coordinadora Técnica

Elaboró: Johan David Quiroga Alarcón
Revisó: Ninfa Yiseth Martínez Arevalo

FIN DEL INFORME

ANEXO 4.

CARACTERIZACION DE AGUA TRATADA 2019

	L. Q. LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA. Ambiente e Industria	INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO			
INFORME 2 OCA 1148-AG 4 de abril de 2019					
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE Señora JESIKA ALEJANDRA PEÑA ANTONIO Teléfono: 3115711570 Dirección: Carrera 7A N° 134B - 50 E-mail: jalejandra1806@gmail.com Bogotá D.C.		IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA ORDEN DE SERVICIO: 7451 FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23 de marzo de 2019 MATRIZ: AR FECHA DE MUESTREO: 21 de marzo de 2019 TIPO DE MUESTREO: Compuesto PUNTO DE MUESTREO: Alternativa de Tratamiento Seleccionada IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 19-AG1246 OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio			
Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre
Cadmio total, Cd	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-01	0,017	±0.0011
Fenoles	mg/L	SM 5530 B, C, Destilación - Extracción con cloroformo	2019-03-30	< 0,049	±0.0022
Cianuro total, CN ⁻	mg/L	SM 4500-CN ⁻ C, F, Electrodo selectivo de cianuro	2019-03-26	< 0,427	±0.042
Mercurio total, Hg	mg/L	2. SM 3112 B, A.A. Vapor frío	2019-04-03	0,0024	±0.0003
Plata total, Ag	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-03	0,029	±0.0016
Níquel total, Ni	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-02	0,063	±0.0071
Plomo total, Pb	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-01	0,046	±0.0077
Cromo total, Cr	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-04-01	0,064	±0.0037

SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017. (A.A.): Absorción Atómica. (<): Menor que límite de cuantificación del método. AR: Agua Residual.

NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada.
 NOTA 2: La reproducción total o parcial de este informe deberá ser autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda.
 NOTA 3: Las muestras serán eliminadas treinta (30) días después de haber sido recibidas.
 NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2.

Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.



CYNTHIA PAOLA ÁVILA GARAVITO
 Química, Matricula Profesional PQ-5002
 Coordinadora Técnica

Elaboró: Johan David Quiroga Alarcón
 Revisó: Ninfa Yiseth Martínez Arevalo

FIN DEL INFORME

ANEXO 5.

CARACTERIZACION INICIAL DE AGUA 2022



REPORTE DE RESULTADOS No. INFR-22-352

Bogotá D.C., Lunes 9 de mayo de 2021

Página: 2 de 2

INFORMACIÓN DEL CLIENTE		INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Cilente:	KAMILA BASTIDAS ARMERO	Proyecto:	ANÁLISIS FQ DE AGUA
Nit.:	N.E	ID Plan de Muestreo:	N.A.
Contacto:	KAMILA BASTIDAS ARMERO	Matriz:	AGUA
E-mail:	kamila.bastidas@estudiantes.uamerica.edu.co	Tipo de muestreo:	PUNTUAL
Dirección:	CARRERA 11A No. 97A - 19	Procedencia:	N.E
Teléfono:	N.E	Responsable muestreo:	KAMILA BASTIDAS ARMERO
Ciudad:	BOGOTA	Fecha de recepción:	9/04/2022
Departamento:	CUNDINAMARCA	Fecha de análisis:	09/04/2022 al 27/4/2022

RESULTADOS					
				Fecha de muestreo:	N.E
Parámetro	Método	Técnica Analítica	Unidad	MUESTRA DE AGUA	
					#22-2706
CIANURO TOTAL	SM 4500-CN-F	ELECTRODO IÓN SELECTIVO	mg/L	<0,050	
CADMIO	EPA 3015A SM 3120 B	ICP	mg/L	49,5	
CROMO	EPA 3015A SM 3120 B	ICP	mg/L	9,49	
MERCURIO	EPA 3015A EPA 3120B	ICP	mg/L	<0,001	
NIQUEL	EPA 3015A SM 3120 B	ICP	mg/L	11,8	
PLATA	EPA 3015A SM 3120 B	ICP	mg/L	0,245	
PLOMO	EPA 3015A SM 3120 B	ICP	mg/L	0,835	
FENOLES TOTALES	SM 5530 B, D	COLORIMÉTRICO DIRECTO	mg/L	0,050	

Observaciones:


José Alejandro Polo Molina
 Director de Hidrocarburos
 SGI Hidrocarburos S.A.S.

SGI Hidrocarburos S.A.S. - NIT.: 901.012.216-4 - Carrera 32B No. 22B - 29
 www.sgitda.com - alejandro.polo@sgihidrocarburos.com - M: 300 570 1170

Fuente: Laboratorios SGI

ANEXO 6.
COTIZACIONES

 DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA	PREFACTURA	Versión 0 Página 1 de 1
--	-------------------	--------------------------------

Bogotá, D.C., 09/jun/2022

Señores:

NICOLAS VELASQUEZ PABON

BOGOTA

Consecutivo: 595

Respetados Señores:

Reciban un cordial saludo,

Atendiendo con mucho gusto su solicitud, nos permitimos cotizar los siguientes productos:

Producto	Cantidad	Presentación	Precio Uni.	% IVA	Total
POLIMERO ANIONICO	1.00	SACO X 25.00 KG	35,000.00	19	1,041,250.00
SODA CAUSTICA EN ESCAMAS X 25 KG	1.00	SACO X 25.00 KG	8,400.00	19	249,900.00
SODA LIQUIDA X 25 KLS	1.00	GARRAFA X 25.00 KG	3,350.00	19	99,662.50
Retención en fuente:					0.00
ICA:					0.00
Retención IVA:					0.00
Total:					1,390,812.50

Forma de pago: CONTADO

Entrega: INMEDIATA

Vigencia: 8 DIAS

Observaciones: LA ENTREGA SE HACE EN NUESTRAS INSTALACIONES EN FUENTE ARANDA.

Quedamos en espera de su confirmación a lo anterior.

Cordialmente,

SANDRA HERRERA

ASISTENTE COMERCIAL

DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA.

NIT. 860.527.158-8

Fuente: Distribuidores Aliados LTDA

ANEXO 7.

CÁLCULOS

CÁLCULO PARA DISOLUCIONES.

NaOH 5%

$$5\% * \frac{250 \text{ mL}}{98\%} = 12.75 \text{ g NaOH}$$

- Polímero

$$0.1\% * \frac{100 \text{ mL}}{100\%} = 0.1 \text{ g Polimero}$$

- Dosificación dióxido de cloro

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1}$$

$$V1 = \frac{(0.1 \text{ ppm})(1000\text{mL})}{1700\text{ppm}}$$

$$V1 = 0.059 \text{ mL} \approx 60 \mu\text{L} \quad \text{Dióxido de Cloro}$$

- A partir de este valor se hacen las escalas

✓ Jarra 1:

$$V1 = \frac{(0.2 \text{ ppm})(1000\text{mL})}{1700\text{ppm}}$$

$$V1 = 0.118 \text{ mL} \approx 118 \mu\text{L}$$

✓ Jarra 2:

$$V1 = \frac{(0.2 \text{ ppm})(1000\text{mL})}{1700\text{ppm}}$$

$$V1 = 0.118 \text{ mL} \approx 118 \mu\text{L}$$

✓ Jarra 4:

$$V_1 = \frac{(0.1 \text{ ppm})(1000 \text{ mL})}{1700 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0.059 \text{ mL} \approx 60 \mu\text{L}$$

✓ Jarra 5:

$$V_1 = \frac{(0.16 \text{ ppm})(1000 \text{ mL})}{1700 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0.094 \text{ mL} \approx 94 \mu\text{L}$$

✓ Jarra 6:

$$V_1 = \frac{(0.16 \text{ ppm})(1000 \text{ mL})}{1700 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0.094 \text{ mL} \approx 94 \mu\text{L}$$

- Metabisulfito

Este compuesto se utiliza para la etapa de reducción de cromo, en la cual la cantidad obtenida de cromo en el análisis de 2022 fue de 9.49 mg/L y para el año 2019 fue de 134.22 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

CARACTERIZACIÓN INICIAL

- DQO Final muestra 118 microlitros (1)

$$DQO \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

$$DQO \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} = \frac{(2.795 \text{ mL} - 2.095 \text{ mL}) * 8000 * 0.1}{2.5 \text{ mL}} = 224 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$$

- DQO Final muestra 118 microlitros (2)

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(2.795 \text{ mL} - 2.15 \text{ mL}) * 8000 * 0.1}{2.5 \text{ mL}} = 206,4 \frac{mgO_2}{L}$$

- DQO Final muestra 94 microlitros (1)

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(2.795 \text{ mL} - 2.11 \text{ mL}) * 8000 * 0.1}{2.5 \text{ mL}} = 219,2 \frac{mgO_2}{L}$$

- DQO Final muestra 94micro litros (2)

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(2.795 \text{ mL} - 2.07 \text{ mL}) * 8000 * 0.1}{2.5 \text{ mL}} = 232 \frac{mgO_2}{L}$$

- DQO Final muestra 59 microlitros (1)

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(2.795 \text{ mL} - 2.095 \text{ mL}) * 8000 * 0.1}{2.5 \text{ mL}} = 219,2 \frac{mgO_2}{L}$$

- DQO Final muestra 59 microlitros (2)

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(2.795 \text{ mL} - 1,9 \text{ mL}) * 8000 * 0.1}{2.5 \text{ mL}} = 286,4 \frac{mgO_2}{L}$$

- DBO 5

Para esta prueba se tomaron dos muestras de blancos (solución digestora) y 3 muestras del agua a tratar.

1. Cálculo de los resultados obtenidos para los blancos

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{L} = Inicial - Final$$

$$Blanco 1 = 6.95 \frac{mg}{L} - 4.64 \frac{mg}{L}$$

$$Blanco 1 = 2.31 \frac{mgO_2}{L}$$

$$Blanco 2 = 7.01 \frac{mg}{L} - 5.07 \frac{mg}{L}$$

$$Blanco 1 = 1.94 \frac{mgO_2}{L}$$

Se promedia estos dos resultados correspondientes a OD consumo de copa

$$OD \text{ consumo de copa} = \frac{2.31 \frac{mgO_2}{L} + 1.94 \frac{mgO_2}{L}}{2} = 2.125 \frac{mgO_2}{L}$$

2. Se calcula del DBO5 para cada muestra de 1.5, 2.5 y 5 mL de agua cruda con la siguiente ecuación:

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{L} = \frac{OD \text{ consumido} - OD \text{ consumo cepa}}{Vm}$$

Donde: $OD \text{ consumido} = OD \text{ inicial} - OD \text{ final}$

$V = \text{Volumen botella Winkler}$

$Vm = \text{Volumen Muestra}$

$$Muestra 0.001 \Rightarrow \frac{\left(\left(7.03 \frac{mg}{L} - 4.25 \frac{mg}{L} \right) - 2.125 \frac{mg}{L} \right)}{0.001L} * (0.293L)$$

$$DBO_5 (0.001L) = 191.915 \frac{mgO_2}{L}$$

$$Muestra 0.0025 \Rightarrow \frac{\left(7.01 \frac{mg}{L} - 4.76 \frac{mg}{L}\right) - 2.125 \frac{mg}{L}}{0.0025L} * (0.293L)$$

$$DBO_5 (0.0025L) = 14.65 \frac{mgO_2}{L}$$

$$Muestra 0.005L \Rightarrow \frac{\left(7.02 \frac{mg}{L} - 3.99 \frac{mg}{L}\right) - 2.125 \frac{mg}{L}}{0.005L} * (0.293L)$$

$$DBO_5 (0.005L) = 53.03 \frac{mgO_2}{L}$$

Estos 3 resultados se promedian para obtener el valor para toda la muestra

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{l} = 86.5327 \frac{mg}{L}$$

- DQO Inicial:

Para el DQO se utiliza la siguiente formula que suministra el IDEAM [12]

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

Donde:

A = Promedio de mL de FAS utilizada para los blancos

B = mL de FAS para la muestra

N = Normalidad FAS

8 = Peso equivalente del Oxígeno

$$A = \frac{2.61 \text{ mL} + 2.44 \text{ mL}}{2} = 2.525 \text{ mL}$$

$$DQO(I1) = \frac{(2.525 \text{ mL} - 1.37 \text{ mL}) * (0.1) * 8 * 1000}{2.5 \text{ mL}}$$

$$DQO(I1) = 369.6 \frac{mgO_2}{L}$$

- Grasas y aceites inicial

$$GyA \frac{mg}{L} = \frac{(Pf - Pi)}{v} \times 10^6$$

Donde:

Pf = Peso final del matraz

Pi = Peso inicial del matraz

V = Volumen de muestra

$$GyA \frac{mg}{L} = \frac{(164.647 g - 164.540 g)}{1000mL} \times 10^6 = 107 \frac{mg}{L}$$

- Solidos totales inicial

$$St = \frac{(A - B)}{V}$$

$$St = \frac{(65095,5 mg - 64799,5 mg)}{(0.05L)} = 5920 ppm$$

CARACTERIZACIÓN FINAL

- DQO Final

$$DQO \frac{mgO2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL de muestra}$$

$$DQO \frac{mgO2}{L} = \frac{(2.795 mL - 2.095 mL) * 8000 * 0.1}{2.5 mL} = 224 \frac{mgO2}{L}$$

- DBO 5

Se realiza el mismo proceso de calculo que la muestra de agua cruda

1. Promedio Blancos

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{L} = Inicial - Final$$

$$Blanco 1 = 6,69 \frac{mg}{L} - 3,19 \frac{mg}{L}$$

$$Blanco 1 = 3,19 \frac{mgO_2}{L}$$

$$Blanco 2 = 6,71 \frac{mg}{L} - 3,82 \frac{mg}{L}$$

$$Blanco 1 = 2,89 \frac{mgO_2}{L}$$

Se promedia estos dos resultados correspondientes a OD consumo de copa

$$OD \text{ consumo de copa} = \frac{3,19 \frac{mgO_2}{L} + 2,89 \frac{mgO_2}{L}}{2} = 3,04 \frac{mgO_2}{L}$$

2. Se calcula del DBO5 para cada muestra de 2.5 y 5 mL de agua tratada

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{L} = \frac{OD \text{ consumido} - OD \text{ consumo cepa}}{Vm}$$

Donde: $OD \text{ consumido} = OD \text{ inicial} - OD \text{ final}$

$V = \text{Volumen botella Winkler}$

$Vm = \text{Volumen Muestra}$

$$Muestra 0.0025 \Rightarrow \frac{\left(\left(6,83 \frac{mg}{L} - 2,58 \frac{mg}{L} \right) - 3,04 \frac{mg}{L} \right)}{0.0025L} * (0.293L)$$

$$DBO_5 (0.0025L) = 141,812 \frac{mgO_2}{L}$$

$$Muestra 0.005 \Rightarrow \frac{\left(\left(6,85 \frac{mg}{L} - 3,36 \frac{mg}{L} \right) - 3,04 \frac{mg}{L} \right)}{0.005L} * (0.293L)$$

$$DBO_5 (0.005L) = 26,37 \frac{mgO_2}{L}$$

Estos 2 resultados se promedian para obtener el valor para toda la muestra

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{l} = 84,0910 \frac{mg}{L}$$

- Grasas y aceites final

$$GyA \frac{mg}{L} = \frac{(Pf - Pi)}{v} \times 10^6$$

Donde:

Pf = Peso final del matraz

Pi = Peso inicial del matraz

V = Volumen de muestra

$$GyA \frac{mg}{L} = \frac{(164.647 g - 164.638 g)}{1000mL} \times 10^6 = 9 \frac{mg}{L}$$

- Solidos totales inicial

$$St = \frac{(A - B)}{V}$$

$$St = \frac{(67985,2 mg - 67983,8mg)}{(0.05L)} = 28 ppm$$

ANEXO 8.

ESCALA PLANTA

- Cantidad de productos químicos en planta.

Para los costos real del tratamiento se hace la escala a 5000L que corresponden al Batch de cuando se realiza el proceso, por lo cual se describe a continuación en cada paso cuanto se usa a través de los siguientes cálculos.

- Cantidad de ácido sulfúrico 6N.

Se determina la cantidad necesaria de ácido sulfúrico para el tratamiento del lote (5000L), por lo cual se establece la concentración inicial de este en la muestra de agua de 1000 ml mediante la ecuación de dilución.

$$\text{Molaridad} = \frac{\text{Normalidad}}{\# \text{ equivalencias}}$$

$$\text{Molaridad} = \frac{6 \text{ N}}{2} = 3M = 3 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$\text{Concentración inicial} = \frac{\text{Molaridad}}{\text{Densidad } H_2SO_4}$$

$$\text{Concentración inicial} = \frac{3 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{1840 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 1,63 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

$$C_1 = 1,63 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \right) \times \left(\frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \right)$$

$$C_1 = 1630 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1630 \text{ ppm}$$

- Ajuste de pH reducción de cromo

En el desarrollo experimental se adiciono 119 ml de H2SO4 6N (1630 ppm) a una muestra del 1000 ml.

$$C_2 = \frac{1630 \text{ ppm} * 119 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 193.97 \text{ ppm} = 193.97 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Por tanto, la cantidad de ácido sulfúrico al 98% (980.000 ppm) necesario para ajustar el pH para la oxidación de cianuro, se muestra a continuación.

$$V_1 = \frac{193,97 \text{ ppm} * 5000 \text{ L}}{980000 \text{ ppm}} = 0,99 \text{ L}$$

- Reducción de ph para la adición de polímero

$$C_2 = \frac{1630 \text{ ppm} * 20 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 32.6 \text{ ppm} = 32.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Por tanto, la cantidad de ácido sulfúrico al 98% (980.000 ppm) necesario para ajustar el pH para la adición del polímero, se muestra a continuación

$$V_1 = \frac{32.6 \text{ ppm} * 5000 \text{ L}}{980000 \text{ ppm}} = 0,000006 \text{ L}$$

- Ajuste de la norma

Ya que el agua debe tener un estándar del pH para cumplir la norma se hace una subida de este, con ácido sulfúrico 6N (1630 ppm)

$$C_2 = \frac{1630 \text{ ppm} * 30 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 48.9 \text{ ppm} = 48.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Por tanto, la cantidad de ácido sulfúrico al 98% (980.000 ppm) necesario para ajustar el pH para la adición del polímero, se muestra a continuación

$$V_1 = \frac{48.9 \text{ ppm} * 5000L}{980000 \text{ ppm}} = 0.25 L$$

La cantidad total de ácido sulfúrico 6N requerida para el tratamiento de agua corresponde a 1.24 L

CANTIDAD DE HIDRÓXIDO DE SODIO 98%

- Precipitación de metales pesados

En el desarrollo experimental se adicionaron 25ml de NaOH al 5% v/v (50.000 ppm) a una muestra del 1000 ml.

$$C_2 = \frac{50000 \text{ ppm} * 25ml}{1000} = 1250 \text{ ppm} = 1250 \frac{mg}{L}$$

Por lo cual la cantidad de Hidróxido de sodio al 98% (980.000 ppm) necesario para ajustar el pH para la precipitación de metales, se muestra a continuación.

$$V_1 = 5000L * 1250 \frac{mg}{L} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1 Kg}{1000 g} = 6,25 \text{ kg NaOH}$$

- Ajuste de la norma

Ya que el agua debe tener un estándar del pH para cumplir la norma se hace una subida de este mismo con hidróxido de sodio al 5% v/v, la cantidad usada fue de 17 ml

$$C_2 = \frac{50000 \text{ ppm} * 17ml}{1000} = 850 \text{ ppm} = 850 \frac{mg}{L}$$

Por lo cual la cantidad de Hidróxido de sodio al 98% (980.000 ppm) necesario para ajustar el pH adecuado para la norma

$$V_1 = 5000L \times 850 \frac{mg}{L} \times \frac{1 g}{1000 mg} \times \frac{1 Kg}{1000 g} = 4,75 kg NaOH$$

Es decir, la cantidad de hidróxido de sodio usado en todo el tratamiento es de 11 kg

CANTIDAD DE METABISULFITO DE SODIO

- **Ajuste de pH reducción de cromo**

Es necesario reducir el cromo hexavalente a cromo trivalente para que se precipite, por lo cual, se usa el metabisulfito al 5% p/p, se ajusta a 5000L sabiendo que en la muestra de 1000 ml se utilizaron 0,28mL

$$C_2 = \frac{50000 ppm \times 2,5ml}{1000} = 125 ppm = 125 \frac{mg}{L}$$

Por lo cual la cantidad de Hidróxido de sodio al 96% (960.000 ppm) necesario para obtener hidróxido trivalente es de

$$5000L \times 12,5 \frac{mg}{L} \times \frac{1 g}{1000 mg} \times \frac{1 Kg}{1000 g} = 0,625 kg Na_2S_2O_5$$

Es decir que se requieren de 0,625 kg de $Na_2S_2O_5$ para el tratamiento de agua.

CANTIDAD POLÍMERO ANIÓNICO

Se calcula la cantidad del polímero aniónico necesario para 5000 L de agua a tratar, por lo cual se establece la concentración inicial de este en la muestra de agua de 1.000 ml mediante la Ecuación de Dilución. Dado que en el desarrollo experimental se adiciono 5 ml de polímero aniónico al 0,1% p/p (1.000 ppm) a una muestra de 1000 ml

$$C_2 = \frac{1000 ppm * 5ml}{1000 ml} = 5 ppm = 5 \frac{mg}{L}$$

Por tanto, la cantidad de polímero aniónico, necesario para ajustar el pH para la reducción de cromo hexavalente a cromo trivalente, se muestra a continuación

$$5000 L * 5 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g} = 0.025 kg \text{ de polímero aniónico}$$

Es decir, se requieren 0.025 kg de polímero aniónico para el tratamiento del agua.

CANTIDAD DIÓXIDO DE CLORO

En el tratamiento se utiliza el dióxido de cloro como oxidante para generar el respectivo proceso de oxidación del cianuro. Este se trabaja con concentraciones ya conocidos para realizar el desarrollo de la prueba de jarras ya que las diluciones deben ser medidas con un equipo en específico por las propiedades del compuesto, en el desarrollo se dosifico en diferentes cantidades encontrando que la ideal para trabajar es de 0,118 PPM, para hacer la escala a 5000L de la cantidad de dióxido de cloro a usar se realiza el siguiente calculo

$$V = \frac{0,118 ppm \times 5000L}{1700 ppm} = 0,35L$$

ANEXO 9.

CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA TRATADA 2022



REPORTE DE RESULTADOS No. INFR - 22 - 577

CLIENTE

KAMILA BASTIDAS ARMERO

Nit.: N.E

Contacto: KAMILA BASTIDAS ARMERO

E-mail: kamila.bastidas@estudiantes.uamerica.edu.co

Dirección: CARRERA 11A No. 97A - 19

Teléfono: N.E

Ciudad: BOGOTA

Departamento: CUNDINAMARCA

PROYECTO

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA DE AGUA

CANTIDAD TOTAL DE MUESTRAS

UNA (1)

Bogotá D.C., Jueves 16 de junio de 2021

Página 1 de 2

SGI Hidrocarburos S.A.S. - NIT.: 901.012.216-4 - Carrera 32B No. 22B - 29
www.sgitda.com - alejandro.polo@sgihidrocarburos.com - M: 300 570 1170

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas. Prohibida toda reproducción total o parcial de este informe sin autorización del laboratorio.
BUREAU VERITAS CERTIFICATION - ISO 9001:2015 - ISO 14001:2015 - OHSAS 18001:2007



REPORTE DE RESULTADOS No. INFR-22-577

Bogotá D.C., Jueves 16 de junio de 2021

Página: 2 de 2

INFORMACIÓN DEL CLIENTE		INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	KAMILA BASTIDAS ARMERO	Proyecto:	ANÁLISIS FQ DE AGUA
Nit.:	N.E	ID Plan de Muestreo:	N.A.
Contacto:	KAMILA BASTIDAS ARMERO	Matriz:	AGUA
E-mail:	kamila.bastidas@estudiantes.uamerica.edu.co	Tipo de muestreo:	PUNTUAL
Dirección:	CARRERA 11A No. 97A - 19	Procedencia:	N.E
Teléfono:	N.E	Responsable muestreo:	KAMILA BASTIDAS ARMERO
Ciudad:	BOGOTA	Fecha de recepción:	1/06/2022
Departamento:	CUNDINAMARCA	Fecha de análisis:	01/06/2022 al 16/06/2022

RESULTADOS				
Fecha de muestreo:				N.E
Parámetro	Método	Técnica Analítica	Unidad	MUESTRA DE AGUA
				#22-4503
CIANURO TOTAL	SM 4500-CN-F	ELECTRODO IÓN SELECTIVO	mg/L	<0,050
CADMIO	EPA 3015A	ICP	mg/L	48,1
	SM 3120 B			
CROMO	EPA 3015A	ICP	mg/L	0,057
	SM 3120 B			
MERCURIO	EPA 3015A	ICP	mg/L	<0,001
	EPA 3120B			
NIQUEL	EPA 3015A	ICP	mg/L	6,39
	SM 3120 B			
PLATA	EPA 3015A	ICP	mg/L	0,087
	SM 3120 B			
PLOMO	EPA 3015A	ICP	mg/L	0,057
	SM 3120 B			
FENOLES TOTALES	SM 5530 B, D	COLORIMÉTRICO DIRECTO	mg/L	<0,03


Observaciones:


José Alejandro Polo Molina,
 Director de Hidrocarburos
 SGI Hidrocarburos S.A.S.

SGI Hidrocarburos S.A.S. - NIT.: 901.012.216-4 - Carrera 32B No. 22B - 29
 www.sgitda.com - alejandro.polo@sgihidrocarburos.com - M: 300 570 1170

ANEXO 10.

FICHA TECNICA POLIMERO

 DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD POLIMEROS	Versión: 2
	Elaborado por: Distribuidora Aliados Ltda	Página 1 de 6
	Aprobado por: Representante de la Dirección SGC	

1. Producto Químico E Identificación de la Empresa

Distribuidora Aliados Ltda.
Cra. 55 No 17B-22
Pbx. 414 14 20 – 420 37 58
3 0 Centro De Información Técnica
Emergencia En Bogotá 4270404
Emergencia Fuera De Bogotá 01 8000 916012 Servicio Las 24 Horas

Denominación POLIMERO
Sinónimos: Ultrafloc, rapised, anionico, cationico
Fecha De Publicación Hoja De Seguridad: junio de 2021

2. Identificación De Peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla
CLASIFICACIÓN según el sistema globalmente armonizado
Este producto no cumple los criterios para clasificarse en una clase de peligro con arreglo al Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de Productos Químicos. Sin embargo, se facilitará una ficha de datos de seguridad a pedido.

Elementos de la etiqueta
Pictograma: SIN PICTOGRAMA

Palabra de advertencia: SIN PALABRA DE ADVERTENCIA

Otros peligros: Ninguno.

3. Composición/ Información Sobre Los Ingredientes

No aplica

4. Medidas De Primeros Auxilios

Descripción de los primeros auxilios
Medidas Generales: Evite la exposición al producto, tomando las medidas de protección adecuadas. Consulte al médico, llevando la hoja de seguridad.

Inhalación: Trasladar a la persona expuesta inmediatamente al aire fresco. Si no respira darle respiración artificial (sólo por personal capacitado). Consultar de inmediato a un médico.

Contacto con la piel: No suministrar ningún tipo de bebidas ni inducir el vómito. Solicitar asistencia médica de inmediato.

Fuente: Distribuidora Aliados

 DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD POLIMEROS	Versión: 2
	Elaborado por: Distribuidora Aliados Ltda	Aprobado por: Representante de la Dirección SGC

6. Medidas En Caso De Vertido Accidental

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia
Evitar fuentes de ignición. Evacuar al personal hacia un área ventilada.

Para el personal de emergencias

Evitar fuentes de ignición. Evacuar al personal hacia un área ventilada. Ventilar inmediatamente, evitando la generación de nubes de polvo. No permitir la reutilización del producto derramado.

Precauciones relativas al medio ambiente

Contenga el producto y evite su dispersión al ambiente. Prevenga que el producto llegue a cursos de agua.

Método y material de contención y de limpieza

Recoger el producto con pala y colocarlo en un recipiente apropiado. Barrer o aspirar evitando la dispersión del polvo. Puede ser necesario humedecerlo ligeramente. Limpiar o lavar completamente la zona contaminada. Disponer el agua y el residuo recogido en envases señalizados para su eliminación como residuo químico.

7. Manejo Y Almacenamiento

Precauciones para una manipulación segura

Prohibido comer, beber o fumar durante su manipulación. Evitar contacto con ojos, piel y ropa. Lavarse después de manejar este producto.

Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

En planta se sugiere el almacenamiento de este producto en bolsas cerradas. Almacenar en un área fría y seca, que no exceda temperaturas de 35°C. No derrame agua en el producto seco debido a que se produce un gel muy compacto y difícil de limpiar.

SE RECOMIENDA REALIZAR EL ALMACENAMIENTO, TENIENDO EN CUENTA LAS INCOMPATIBILIDADES DEL NUMERAL 10.

8. Controles Para Exposición/ Protección Personal

Controles técnicos apropiados

Mantener ventilado el lugar de trabajo. La ventilación normal para operaciones habituales de manufacturas es generalmente adecuada. Campanas locales deben ser usadas durante operaciones que produzcan o liberen grandes cantidades de producto. En áreas bajas o confinadas debe proveerse ventilación mecánica. Disponer de duchas y estaciones lavaojos.



**DISTRIBUIDORA
ALIADOS LTDA**

**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
POLIMEROS**

Versión: 2

Página 2 de 6

Elaborado por:
Distribuidora Aliados Ltda

Aprobado por:
Representante de la Dirección SGC

Contacto con los ojos: Lavar el área expuesta con abundante agua por 15 minutos o hasta asegurar la remoción del producto. Si los daños persisten consulte a un médico.

Ingestión: Lavarse los ojos con agua corriente por 15 minutos, buscando remover rastros del producto, lentes de contacto u otros objetos. Si la irritación persiste consulte a un médico.

Principales síntomas y efectos, tanto agudos como retardados

Inhalación: El polvo puede ser ligeramente irritante. Puede causar dolor de garganta o tos.

Contacto con la piel: No se esperan efectos adversos, pero puede causar irritación leve de la piel.

Contacto con los ojos: No se esperan efectos adversos, pero el polvo puede causar irritación mecánica.

Ingestión: Lavarse los ojos con agua corriente por 15 minutos, buscando remover rastros del producto, lentes de contacto u otros objetos. Si la irritación persiste consulte a un médico

Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que se deban dispensarse inmediatamente.

Nota al médico: Tratamiento sintomático. Para más información, consulte a un Centro de Intoxicaciones.

5. Medidas Contra Incendios

Medios de extinción

Usar polvo químico seco, espuma, arena o niebla de agua. Utilizar el producto acorde a los materiales de los alrededores. **NO USAR** chorros de agua directos ya que la mezcla polímero-agua es muy adherente.

Peligros específicos derivados de la sustancia o mezcla

El producto y sus embalajes pueden quemar pero no encienden fácilmente.

Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Instrucciones para Extinción de incendio:

Rocíe con agua los embalajes para evitar la ignición si fueron expuestos a calor excesivo o al fuego.

Retire los embalajes si aún no fueron alcanzados por las llamas, y puede hacerlo sin riesgo. Enfríe los embalajes con agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido, removiendo los restos hasta eliminar los rescoldos.

Protección durante la extinción de incendios:

Utilice equipo autónomo de respiración. La ropa de protección estructural de bomberos provee protección limitada en situaciones de incendio **ÚNICAMENTE**; puede no ser efectiva en situaciones de derrames.

Productos de descomposición peligrosos en caso de incendio:

En caso de incendio puede desprender humos y gases irritantes y/o tóxicos, como óxidos de azufre y otras sustancias derivadas de la combustión incompleta.

Fuente: Distribuidora Aliados



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
POLIMEROS

Versión: 2

Página 4 de 6

Elaborado por:
Distribuidora Aliados Ltda

Aprobado por:
Representante de la Dirección SGC

Equipos de protección personal



Protección de los ojos y la cara

Se deben usar gafas de seguridad, a prueba de salpicaduras de productos químicos.

Protección de la piel:

Al manipular este producto se deben usar guantes protectores impermeables de PVC, nitrilo.

Protección respiratoria:

En los casos necesarios, utilizar protección respiratoria para polvo (P2). Debe prestarse especial atención a los niveles de oxígeno presentes en el aire.

9. Propiedades Físico- Químicas

Estado físico	Polvo granular
Color	Blanco
Olor	Característico
pH	1 – 4
Peso molecular	Muy alto

10. Estabilidad y Reactividad

Reactividad

No se espera que se produzcan reacciones o descomposiciones del producto en condiciones normales de almacenamiento.

Estabilidad química

El producto es químicamente estable y no requiere estabilizantes.

Posibilidad de reacciones peligrosas

No se espera polimerización peligrosa.

Condiciones que deben evitarse

Evitar altas temperaturas y humedad.

Productos de descomposición peligrosos

 DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD POLIMEROS	Versión: 2
	Elaborado por: Distribuidora Aliados Ltda	Aprobado por: Representante de la Dirección SGC

En caso de calentamiento puede desprender vapores irritantes y tóxicos. En caso de incendio, ver la Sección 5.

11. Información Toxicológica

Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad oral aguda: Especies LD50 Sustancia Examinada Rata >5,000 mg/kg Producto

Toxicidad dérmica aguda: Especies LD50 Sustancia Examinada Conejo >2,000 mg/kg Producto

Irritación primaria de la piel: Escala de Draize Sustancia Examinada 0.1 / 8.0 Producto

Irritación primaria de los ojos: Escala de Draize Sustancia Examinada 9 / 110.0 Producto

Mutagenicidad, Cancerogenicidad y toxicidad para la reproducción:

No se dispone de información sobre ningún componente de este producto, que presente niveles mayores o iguales que 0,1%, como carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la IARC (Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos).

12. Información Ecológica

No se esperan posibles efectos biológicos para los organismos acuáticos y plantas si el producto mantiene las condiciones adecuadas.

13. Consideraciones De Disposición

Eliminar de acuerdo con la disposición del estado, los restos de producto depositados en los recipientes debidamente etiquetados. Los residuos no deben verterse al alcantarillado, en conductos de agua, en suelos o acuíferos. Esta operación debe llevarse a cabo de forma cuidadosa y usando todos los elementos de protección personal referenciados en el numeral 8.

La disposición y eliminación debe realizarse de acuerdo con las disposiciones oficiales. Para los embalajes contaminados deben adoptarse las mismas medidas que para el producto contaminante.

14. Información Sobre Transporte

Nombre Apropiado para el Transporte:	MERCANCIA NO PELIGROSA PARA SU TRANSPORTE
N° UN/ID:	MERCANCIA NO PELIGROSA PARA SU TRANSPORTE
Clase de Peligro:	MERCANCIA NO PELIGROSA PARA SU TRANSPORTE
Grupo de Embalaje:	MERCANCIA NO PELIGROSA PARA SU TRANSPORTE
Código de Riesgo:	MERCANCIA NO PELIGROSA PARA SU TRANSPORTE
Cantidad limitada y exceptuada:	MERCANCIA NO PELIGROSA PARA SU TRANSPORTE

ANEXO 11

RECOMENDACIONES

Una vez realizado el proceso de evaluación, analizado los resultados del laboratorio y los obtenidos de manera experimental se recomienda tener un riguroso control en la utilización del dióxido de cloro, teniendo en cuenta los requerimientos técnicos propios para esta sustancia. Para la etapa de precipitación de metales se recomienda realizar una evaluación de este procedimiento a diferentes pH, para que el proceso tenga valores de remoción de metales pesados superiores a los obtenidos. Además, se recomienda evaluar la mejor opción de compuesto para la etapa de floculación, que favorezca la formación de flocs de mayor tamaño.

Se recomienda realizar el tren de separación propuesto usando el dióxido de cloro como oxidante en agua de muestra con mayor porcentaje de cianuro en ella, o en su defecto, preparar agua sintética de cianuro para poder evaluar el porcentaje de remoción obtenido de la oxidación del cianuro con dióxido de cloro.

En el proceso de remoción de metales se recomienda una separación de lodos para cada etapa previa a la neutralización, para favorecer la remoción de metales pesados y disminuir el uso de materias primas empleadas en los diferentes ajustes de pH inmersos en el proceso.

Para hacer una correcta evaluación de sinergia y comportamiento de floculantes y coagulantes con dióxido de cloro se recomienda realizar para una misma corriente de agua el tratamiento empleado actualmente en la planta de tratamiento de la fuerza aérea y el propuesto empleando el dióxido de cloro como oxidante.