

**PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL INDUSTRIAL EN LA FÁBRICA R.F.G. BONNY LTDA.**

BRENDY ZULAY ARIZA ALARCÓN

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL INDUSTRIAL EN LA FÁBRICA R.F.G. BONNY LTDA.**

BRENDY ZULAY ARIZA ALARCÓN

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

Nota de aceptación

Oscar Lombana
Presidente del jurado

Sandra Mesa
Jurado

Diana Cuesta
Jurado

Bogotá D.C., Abril de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrector Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano de la Facultad de Ingeniería

Dr. Julio Cesar Cifuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería

Dr. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados y el cuerpo docente no son responsables por las ideas y criterios propuestos en el presente documento. Esto corresponde únicamente al autor.

DEDICATORIA

A mi papá, sin quien éste logro no habría podido ser posible.

AGRADECIMIENTOS

El autor de expresa sus agradecimientos a:

A mi papá, por ser comprensivo, paciente y tolerante. Gracias por hacer todo lo posible para ayudarme a ser una mejor persona día a día.

La fábrica R.F.G. Bonny Ltda., y la ingeniera Camila López, gracias por permitirme desarrollar mi trabajo de grado en sus instalaciones y por prestarme los conocimientos necesarios cuando los que poseía no me eran suficientes.

Al ingeniero Oscar Lombana, por otorgarme su tiempo para orientarme y apoyarme en el desarrollo de este proyecto. Gracias por darme las herramientas necesarias para mejorar cada vez más.

A la ingeniera Deisy Sierra, por su paciencia y comprensión para realizar este proyecto; gracias por proporcionarme las herramientas necesarias para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos aquí planteados.

Al laboratorio MCS Consultoría, y al Ingeniero Jaime Niño, por prestarme las instalaciones y los conocimientos para poder llevar a cabo la caracterización inicial de las aguas residuales industriales.

A Carolina, por ayudarme a concretar la parte experimental del proyecto. Sin tu ayuda, esto no habría sido posible.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	
1. GENERALIDADES	26
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	26
1.2 SECCIONES DE PRODUCCIÓN	27
1.2.1 Vinilos	27
1.2.2 Esmaltes	28
1.2.3 Equipos	29
1.3 GENERACIÓN DE RESIDUOS	31
1.3.1 Producción	32
1.3.2 Normativa	32
1.3.2.1 pH	33
1.3.2.2 Demanda Química de Oxígeno	33
1.3.2.3 Demanda Biológica de Oxígeno	33
1.3.2.4 Sólidos Suspendedos Totales	34
1.3.2.5 Sólidos Sedimentables	34
1.3.2.6 Grasas y Aceites	34
1.3.2.7 Fenoles	34
1.3.2.8 Hidrocarburos Totales	34
2. DIAGNÓSTICO	35
2.1 CONSUMO DE AGUA	35
2.1.1 Consumo agua – Producción	35
2.1.2 Consumo agua – Doméstico	36
2.1.3 Agua Residual	36
2.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS	36
2.2.1 Agua residual – Lavado de tanques	36
2.2.2 Agua residual – Lavado de pisos y utensilios	37
2.2.3 Balance hídrico	37
2.3 TRATAMIENTO ACTUAL R.F.G. BONNY LTDA.	38
2.3.1 Lavado de tanques, pisos y utensilios	38
2.3.2 Tanques de almacenamiento	38
2.3.3 Caja sedimentación y filtración	39
2.3.4 Trampa de grasas	40
2.3.5 Sistema de tratamiento actual	40

2.4 CARACTERIZACIÓN	41
2.4.1 Determinación de caudal	41
2.4.2 Determinación de temperatura y pH	42
2.4.3 Determinación de DQO y DBO ₅	45
2.4.4 Determinación sólidos suspendidos totales	50
2.4.5 Determinación sólidos sedimentables	51
2.4.6 Determinación grasas y aceites	52
2.4.7 Determinación fenoles	54
2.4.8 Caracterización inicial	55
2.4.9 Resultados	55
3. TRATAMIENTO	57
3.1 PRETRATAMIENTO	57
3.1.1 Cribado	57
3.1.2 Desarenado	57
3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO	58
3.2.1 Flotación	58
3.2.2 Homogenización	58
3.2.3 Neutralización	58
3.2.4 Precipitación	58
3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO	58
3.3.1 Coagulación	58
3.3.2 Floculación	59
3.3.3 Ozonización	59
3.3.4 Tratamientos biológicos	59
3.4 TRATAMIENTO TERCIARIO	59
3.4.1 Adsorción	59
3.4.2 Intercambio iónico	59
3.4.3 Ósmosis inversa	60
3.5 MÉTODOS PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES	60
3.5.1 Procesos biológicos aerobios	61
3.5.2 Procesos biológicos anaerobios	61
3.5.3 Ozonización	61
3.5.4 Clarificación directa	62
3.6 ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO	62
3.6.1 Alternativa 1 – Tratamiento de ozonización	63
3.6.2 Alternativa 2 – Clarificación directa	64
3.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	68
3.8 MATRIZ DE SELECCIÓN	69

3.9 ENSAYO DE JARRAS	73
3.10 ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
4. ESPECIFICACIONES	84
4.1 DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS	84
4.1.1 Tanque de homogenización	85
4.1.2 Tanque de sedimentación química	87
4.1.3 Tratamiento de lodos	94
4.1.4 Dosis coagulante y floculante	95
4.1.5 Tubería	96
4.1.6 Consumo eléctrico	98
5. COSTOS	99
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN E INSTALACIÓN	99
5.1.1 Bomba	99
5.1.2 Tanque de homogenización	101
5.1.3 Tanque de sedimentación química	101
5.1.4 Filtro de presión con correa	101
5.1.5 Coagulante y floculante	101
5.1.6 Costos de operación	102
5.1.7 Costos de instalación	102
5.2 PROYECCIÓN DE COSTOS	103
6. CONCLUSIONES	106
7. RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	108

LISTA DE CÁLCULOS

	pág.
Cálculo 1. Vol. Final tanque homogenización.	86
Cálculo 2. Porcentaje de seguridad final tanque homogenización.	86
Cálculo 3. Longitud del diámetro	87
Cálculo 4. Área superficial requerida para espesamiento del lodo	89
Cálculo 5. Profundidad para la concentración deseada de sólidos	89
Cálculo 6. Tasa de clarificación para el sedimentador químico	90
Cálculo 7. Velocidad de asentamiento para el sedimentador químico	90
Cálculo 8. Área requerida para la clarificación	90
Cálculo 9. Flujo de sólidos presente en el sedimentador	91
Cálculo 10. Carga de sólidos	91
Cálculo 11. Carga hidráulica	91
Cálculo 12. Radio sección cónica tanque sedimentador	92
Cálculo 13. Volumen sección cónica tanque sedimentador	93
Cálculo 14. Volumen cilindro tanque sedimentador.	93
Cálculo 15. Altura cilindro tanque sedimentador.	93
Cálculo 16. Altura tanque sedimentador.	94
Cálculo 17. Cantidad de lodos por tratamiento.	94
Cálculo 18. Cantidad de sólidos por tratamiento.	95
Cálculo 19. Periodo de operación	95
Cálculo 20. Volumen de coagulante necesario para tratamiento	95
Cálculo 21. Concentración disolución de floculante.	96
Cálculo 22. Concentración disolución de floculante.	96
Cálculo 23. Costo inversión 2017.	104

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Compuestos habituales utilizados para la producción de pinturas	27
Cuadro 2. Equipos R.F.G. Bonny Ltda.	30
Cuadro 3. Métodos para disminuir la concentración de los contaminantes	60
Cuadro 4. Ventajas y desventajas – ozonización	63
Cuadro 5. Coagulantes y Floculantes ideales para tratamiento aguas pinturas.	73

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Producción de vinilos	28
Diagrama 2. Producción de esmaltes	29
Diagrama 3. Balance hídrico	37
Diagrama 4. Sistema de tratamiento actual	40
Diagrama 5. Determinación DBO ₅	47
Diagrama 6. Determinación DQO	49
Diagrama 7. Determinación SST	51
Diagrama 8. Determinación HT y G&A	53
Diagrama 9. Alternativa de tratamiento 1	65
Diagrama 10. Proceso producción de ozono	66
Diagrama 11. Alternativa de tratamiento 2	67
Diagrama 12. Ensayo de Jarras	75
Diagrama 13. Alternativa de tratamiento	85
Diagrama 14. Diagrama tuberías R.F.G. Bonny Ltda.	97
Diagrama 15. Equipos necesarios para la implementación del tratamiento	100

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Concentración DBO ₅	45
Ecuación 2. Concentración DQO	48
Ecuación 3. Concentración SST	50
Ecuación 4. Resultado matriz de selección	69
Ecuación 5. Vol. Final tanque homogenización.	86
Ecuación 6. Vol. cilindro	86
Ecuación 7. Área superficial requerida para espesamiento del lodo	88
Ecuación 8. Profundidad para la concentración deseada de sólidos totales	89
Ecuación 9. Tasa de clarificación para el sedimentador químico	89
Ecuación 10. Área requerida para la clarificación	90
Ecuación 11. Velocidad de asentamiento para el sedimentador químico	90
Ecuación 12. Flujo de sólidos presente en el sedimentador	91
Ecuación 13. Carga de sólidos	91
Ecuación 14. Carga hidráulica	91
Ecuación 15. Radio sección cónica tanque sedimentador	92
Ecuación 16. Volumen sección cónica tanque sedimentador	93
Ecuación 17. Volumen cilindro tanque sedimentador.	93
Ecuación 18. Altura tanque sedimentador.	94
Ecuación 19. Costo a futuro	103

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Área para el lavado tanques y equipos	38
Fotografía 2. Tanques de almacenamiento	39
Fotografía 3. Caja de sedimentación y filtración.	39
Fotografía 4. Trampa de grasas	40
Fotografía 5. Equipo para la determinación de temperatura y pH	43
Fotografía 6. Equipo para la determinación DBO ₅	46
Fotografía 7. Equipo para la determinación DQO	48
Fotografía 8. Equipo para la determinación SST	50
Fotografía 9. Equipo para la determinación SSED	52
Fotografía 10. Equipo para la determinación G&A e HT.	52
Fotografía 11. Equipo para la determinación Fenoles	54

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Valores caudal – monitoreo compuesto	42
Gráfica 2. Valores temperatura – monitoreo compuesto	44
Gráfica 3. Valores pH – monitoreo compuesto	45
Gráfica 4. Comparativa DQO con la normativa – antes y después de clarificar	81
Gráfica 5. Comparativa DBO ₅ con la normativa – antes y después de clarificar	81
Gráfica 6. Comparativa SST con la normativa – antes y después de clarificar	82
Gráfica 7. Comparativa SSED con la normativa – antes y después de clarificar	82

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. R.F.G. Bonny Ltda.	26
Imagen 2. Equipo para el ensayo de jarras	73
Imagen 3. Triángulo de 45°	92

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Límites establecidos en la normativa para el vertimiento de aguas	32
Tabla 2. Consumo general de agua	35
Tabla 3. Consumo agua por persona al día	36
Tabla 4. Valores de caudal reportados	41
Tabla 5. Valores de temperatura y pH reportados	43
Tabla 6. Resultados caracterización inicial	55
Tabla 7. Valor criterios	68
Tabla 8. Calificación otorgada a cada uno de los criterios	70
Tabla 9. Matriz evaluación alternativas	72
Tabla 10. Turbidez y pH – adición coagulante – prueba uno (1).	77
Tabla 11. Turbidez y pH – adición coagulante – prueba dos (2).	78
Tabla 12. Turbidez y pH – adición floculante inicial – F – 9900	78
Tabla 13. Turbidez y pH – adición floculante inicial – F – 9701	78
Tabla 14. Turbidez y pH – adición floculante inicial – F – 9901	79
Tabla 15. Turbidez y pH – adición floculante final – aniónico baja concentración	79
Tabla 16. Resultados aguas clarificadas	80
Tabla 17. Ensayo de sedimentación.	87
Tabla 18. Ensayo de sedimentación	96
Tabla 19. Ensayo de sedimentación	98
Tabla 20. Bombas	99
Tabla 21. Coagulante y floculante	101
Tabla 22. Coagulante, floculante y agua destilada costo anual	102
Tabla 23. Costos de operación	102
Tabla 24. Costos de instalación	102
Tabla 25. Índices precios al productor	103
Tabla 26. Índices precios al consumidor	104
Tabla 27. Costos futuros de operación	105

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Metodología para la determinación de parámetros	112
Anexo B. Índice de precio al consumidor.	146
Anexo C. Características tanques AJOVER	147
Anexo D. Ensayo velocidad de sedimentación	148

LISTA DE SIGLAS

ARD: Agua residual doméstica

ARI: Agua residual industrial

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno

DQO: Demanda química de oxígeno

G&A: Grasas y aceites

HT: Hidrocarburos totales

pH: Potencial de hidrógeno

SSED: Sólidos sedimentables

SST: Sólidos suspendidos totales

GLOSARIO¹

ADSORCIÓN: mediante este proceso las moléculas de una sustancia, que se encuentra en cierta fase, son retenidas en la superficie de otra sustancia que se encuentra en una fase diferente.

AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL: se refiere a las aguas procedentes de cualquier actividad industrial en cuyo proceso se utilice agua ya sea en producción, transformación o manipulación.

CAUDAL: cantidad de un fluido, en L/s, que se traslada por unidad de tiempo.

COAGULACIÓN: proceso que consiste en la desestabilización de las partículas coloidales mediante la neutralización de las cargas eléctricas al adicionar un coagulante.

CONTAMINACIÓN: alteración nociva de las características físicas, químicas o biológicas de un ambiente o entorno.

CONTAMINACIÓN HÍDRICA: alteración nociva mediante compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua que disminuyen el aporte de oxígeno en la misma.

CRIBADO: clasificación y separación de materiales sólidos debido al tamaño de los mimos.

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO: cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la degradación de las sustancias orgánicas presentes en el agua.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica presente en el agua bajo condiciones específicas del agente oxidante.

DESECHO INDUSTRIAL: residuos generados mediante actividades industriales.

DESECHOS TÓXICOS: sustancias químicas que poseen propiedades que alteran nocivamente el ambiente, tales como la corrosión, la toxicidad y la inflamabilidad.

FENOLES TOTALES: compuestos orgánicos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo como grupo funcional.

FILTRACIÓN: mediante el uso de un tamiz se pasa un elemento y se separan sus partes quedando en el tamiz las partículas de mayor tamaño.

¹ COLLAZO, Javier. Diccionario enciclopédico de términos técnicos. Mc Graw-Hill. Vol. 3, 1985

FLOCULACIÓN: agrupación de las partículas al ponerse en contacto unas con otras, dicha acción se realiza mediante la adición de floculantes.

GRASAS Y ACEITES: componentes biológicos solubles en solventes no polares.

HIDROCARBUROS TOTALES: mezcla de compuestos originados del petróleo crudo, formados por hidrógeno y carbono.

NEUTRALIZACIÓN: proceso mediante el cual un ácido reacciona con una base para formar una sal y agua; es utilizada para mejorar las condiciones de pH en una muestra.

OZONIZACIÓN: proceso mediante el cual se utiliza el ozono para esterilizar las aguas.

SEDIMENTACIÓN: precipitación de los sólidos en el fondo de los recipientes mediante la afección generada por la gravedad.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: partículas presentes en las aguas residuales que, debido a su tamaño y peso, se precipitan en el fondo.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES: partículas que, debido a su tamaño, permanecen suspendidas en la muestra de agua; sirven como indicadores de la turbidez.

TEMPERATURA: es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.

RESUMEN

Dentro del siguiente trabajo de grado se tuvo como objetivo principal generar una propuesta para tratar el agua residual industrial proveniente de las actividades cotidianas realizadas en R.F.G. Bonny Ltda., con el fin de dar cumplimiento a la normativa actual que regula los vertimientos de éste tipo al alcantarillado público de Bogotá; dentro de dichas actividades se encuentran la producción de vinilos y esmaltes, así como el lavado de equipos, utensilios y la pequeña cantidad de aguas que se generan por el uso de los baños mediante el personal de planta.

Para poder describir una propuesta adecuada lo primero que se llevó a cabo fue la caracterización inicial de las ARI donde se evaluaron dieciséis parámetros, todos con límites máximos permisibles contemplados dentro de la resolución 0631 del 2015, y al obtener los resultados de dicha caracterización se pudo establecer que las ARI de R.F.G. Bonny Ltda., se encontraban afectadas, principalmente, por materia orgánica en descomposición presente lo cual se reflejó en las altas concentraciones reportadas por la DBO_5 , la DQO los sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables.

Una vez conocidos los parámetros cuyas concentraciones debían reducirse, los otros doce se encontraban de acuerdo a la normativa, se plantearon dos (2) alternativas de tratamiento y mediante una matriz de selección donde la evaluación de los criterios se realizó con la colaboración del ingeniero de R.F.G. Bonny Ltda., y la investigación teórica, se encontró que la alternativa más adecuada para el tratamiento consiste en un proceso de clarificación directa; realizando un ensayo de jarras se comprobó que al realizar dicho tratamiento se reducían considerablemente las concentraciones de los contaminantes.

Finalmente, conociendo los equipos que requiere la alternativa planteada al haber realizado un diagrama de dicha alternativa, se realizó el dimensionamiento de éstos equipos y se calcularon las concentraciones de coagulante y floculante necesarias en el tratamiento además se realizó un análisis de costos mediante el cual se pudo conocer el costo que tendría implementar la alternativa escogida en el 2017 y los costos de producción que se generarían desde el año 2018 hasta el año 2022.

Palabras clave:

- Propuesta
- Agua residual industrial
- Caracterización inicial
- Alternativas de tratamiento
- Coagulación
- Floculación

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son materiales derivados de procesos domésticos e industriales que, debido al impacto ambiental que generan o por razones de salud pública, en la mayoría de los casos no pueden ser desechadas sin un tratamiento. Los métodos mediante los cuales se presentan aguas residuales industriales pueden ser muy variados, desde agua utilizada para el lavado y enjuague hasta agua utilizada en transformaciones químicas donde ésta es el disolvente.

En la actualidad las industrias se han visto en la obligación de implementar, o pensar en implementar, tratamientos que descontaminen las cantidades de agua residual que generan ya que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emitió el 15 de marzo de 2015 la resolución 0631 mediante la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público que deben seguir los diferentes tipos de industrias ubicadas en Colombia; la omisión a la normativa, que conlleve a concentraciones superiores a las estipuladas como límites, puede generar llamados de atención y un posterior cierre de la fábrica si no se toman las medidas adecuadas.

Dentro de los diferentes tipos de industrias, es necesario resaltar que la fabricación de pinturas se encuentra dentro de los sectores con un alto grado de contaminación por lo cual el agua utilizada en su producción ve afectadas sus características químicas, físicas y biológicas y debido a esto al finalizar la producción es necesario realizar un tratamiento que, aunque no devuelve al agua sus características iniciales, disminuye las concentraciones de parámetros contaminantes que afectan al medioambiente.

La fábrica de pinturas R.F.G. Bonny Ltda., se ha interesado en establecer un sistema para el tratamiento de agua residual industrial que se genera durante los procesos habituales que se llevan a cabo, tales como la producción de vinilos y esmaltes, y de acuerdo a su infraestructura y recursos; esto con el fin de emitir residuos que se encuentren acordes a los lineamientos establecidos en la normativa.

A continuación, a lo largo de este trabajo de grado, se presenta la propuesta generada para R.F.G. Bonny Ltda., con el fin de dar cumplimiento a lo requerido por la norma.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua residual industrial de la fábrica R.F.G. Bonny Ltda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado inicial del agua residual industrial de la fábrica R.F.G. Bonny Ltda.
- Seleccionar un tratamiento para el agua residual industrial de acuerdo al diagnóstico inicial de las aguas.
- Determinar las especificaciones técnicas del proceso que se debe llevar a cabo para disminuir la concentración de contaminantes en R.F.G. Bonny Ltda.
- Realizar una evaluación de costos para la implementación del tratamiento de agua residual industrial en R.F.G. Bonny Ltda.

1. GENERALIDADES

El trabajo de grado aquí presentado se desarrolló en la empresa de pinturas R.F.G. Bonny Ltda. A continuación, dentro de las generalidades, se exhibe la descripción de la empresa, los procedimientos llevados a cabo en ella, entre otros.

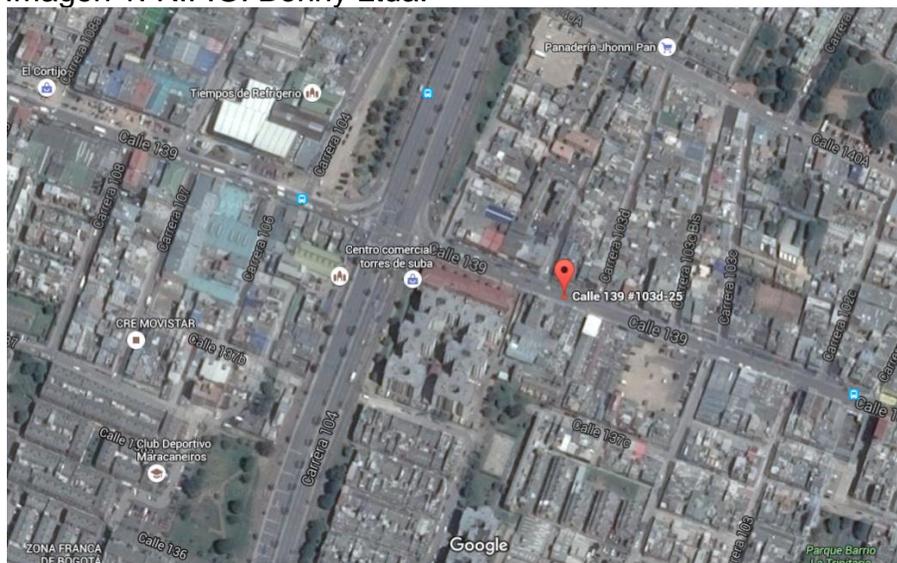
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

R.F.G. Bonny Ltda., es una fábrica productora y comercializadora de pinturas, vinilos, esmaltes, lacas y disolventes; de acuerdo al compromiso que tienen con sus clientes los productos aquí desarrollados se encuentran en concordancia a las normas de calidad establecidas y éstos generan un impacto ambiental bajo.

Dentro de la lista de clientes de R.F.G. Bonny Ltda., se encuentran almacenes dedicados a la venta de productos para construcción y decoración, además de personas naturales que se acerquen directamente al punto de venta a adquirir los productos. La planta se ubica en Bogotá D.C., en la localidad de Suba, allí se sitúan las áreas de producción y ventas.

R.F.G. Bonny Ltda., es una empresa familiar que cumple con los requerimientos de ley para el desarrollo de sus productos; se encuentra ubicada en la calle 139 No. 103D – 25. La Imagen 1 exhibe la imagen satelital del punto descrito.

Imagen 1. R.F.G. Bonny Ltda.



Fuente: Google Earth, 2016

La empresa tiene dos (2) áreas de producción que se basan en la producción de pinturas en base agua y en base aceite. Su horario de atención, y producción, es de lunes a sábado desde las ocho de la mañana hasta las siete de la noche.

1.2 SECCIONES DE PRODUCCIÓN

Las pinturas son materiales de recubrimiento en estado sólido o líquido que, una vez adheridas a una superficie, recubren, protegen y decoran dicha superficie sobre la cual se ha depositado. Los materiales utilizados para la fabricación de pinturas se dividen en pigmentos, solventes, conservantes y aglutinantes². A continuación, en el cuadro 1, se exhiben los compuestos habituales utilizados para la producción de pinturas.

Cuadro 1. Compuestos habituales utilizados para la producción de pinturas

	PINTURAS CONVENCIONALES
CONSERVANTES	Pentaclorofenol, Bifenilos policlorados, Formaldehído, Piretro Químico
AGLUTINANTES	Resinas alcídicas, Resinas de Melamina, Estireno, Resinas Epoxi
SOLVENTES	Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos alifáticos, Alcoholes, Agua

Fuente: Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria elaboradora de pinturas.

1.2.1 Vinilos. Los vinilos son pinturas en base agua que se producen mediante pigmentos, agentes dispersantes, preservantes, sustancias secantes, amoniaco o aminas, y agua, entre otros³.

Para producir vinilos primero se adiciona agua, amoniaco y agentes dispersantes en un tanque donde se mezclan; una vez la mezcla está menos heterogénea se adicionan pigmentos y agentes extensores. Para la dispersión de todos los elementos anteriores el material resultante debe atravesar un equipo de molienda.

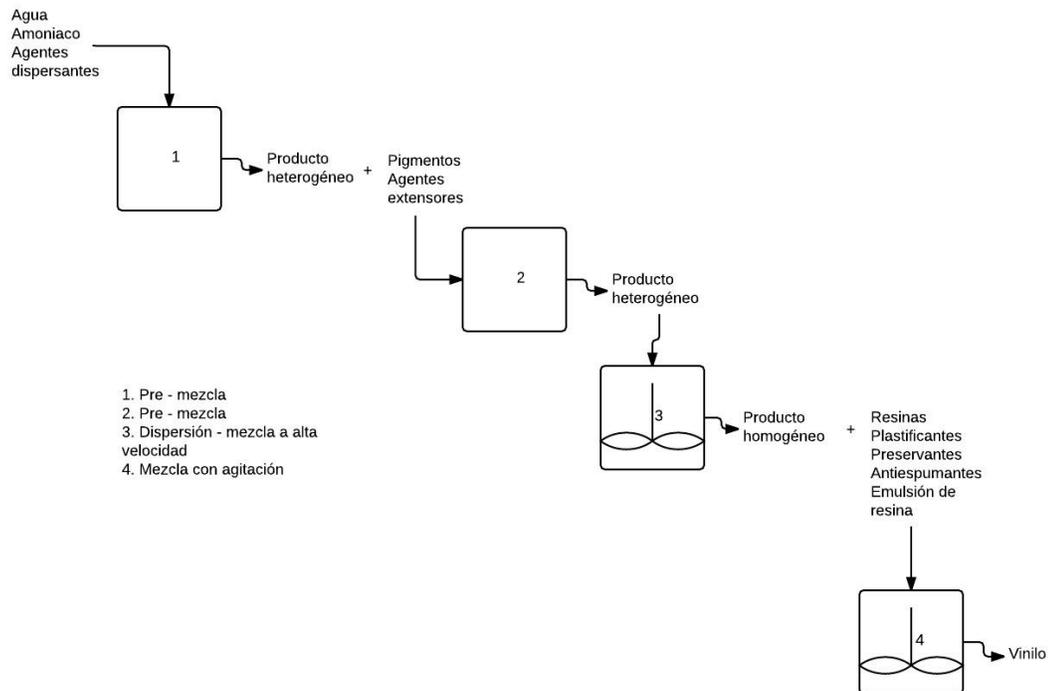
² COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial – Industria Elaboradora de Pinturas. Santiago, 1998, p. 12

³ COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial – Industria Elaboradora de Pinturas. Santiago, 1998, p. 14

El producto debe ser transferido a un tanque de mezcla con agitación donde se adicionan resinas, plastificantes, preservantes, antiespumantes y la emulsión de resina. Para finalizar se adiciona agua con el fin de lograr la consistencia deseada y se filtra todo el material para así remover los pigmentos que no se dispersaron completamente.

A continuación, en el diagrama 1, se exhibe el proceso descrito.

Diagrama 1. Producción de vinilos



1.2.2 Esmaltes. Los esmaltes son pinturas en base a solventes que dentro de su proceso de producción incluyen el uso de pigmentos, sustancias secantes, agentes plastificantes, resinas y solventes⁴.

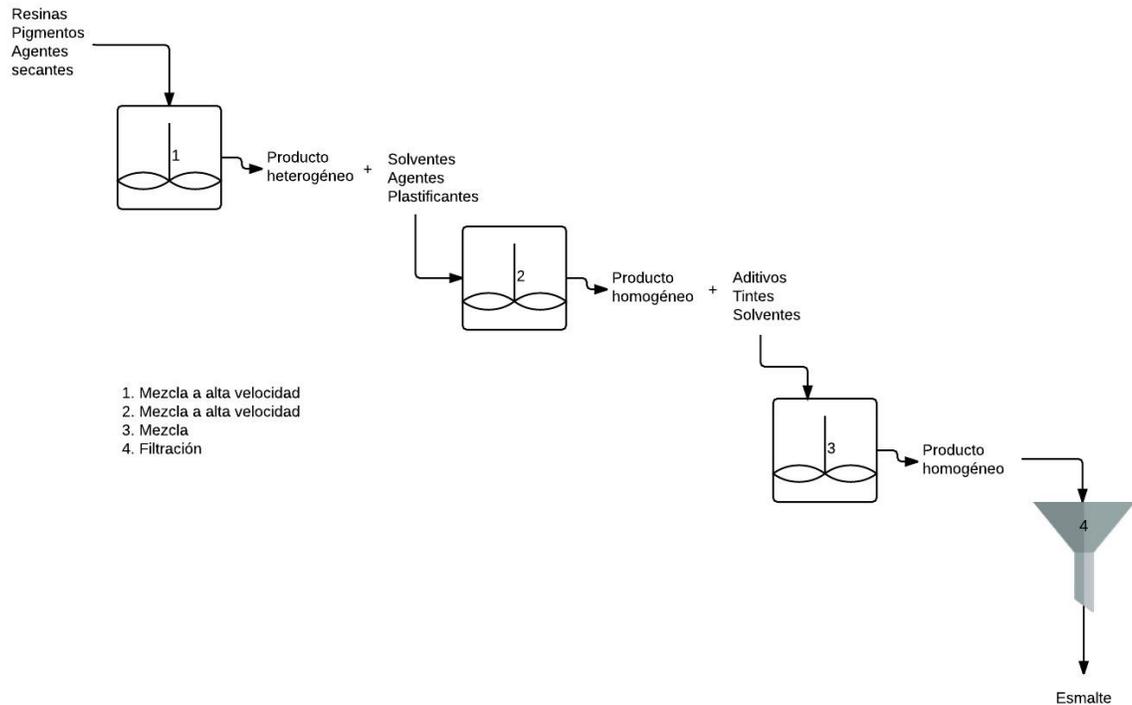
Para obtener esmaltes se sigue un procedimiento similar al de la obtención de vinilos donde en un principio se deben mezclar las resinas, los pigmentos y los agentes secantes en un mezclador de alta velocidad y posterior a esto se adicionan los solventes y agentes plastificantes.

⁴ COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial – Industria Elaboradora de Pinturas. Santiago, 1998, p. 14

Al obtener la mezcla final el producto es transferido a un segundo tanque de mezcla donde se agregan aditivos, tintes y una posterior concentración de solventes. Finalmente, se filtra y la pintura es envasada y almacenada.

A continuación, en el diagrama 2, se muestra el proceso de producción de esmaltes.

Diagrama 2. Producción de esmaltes



1.2.3 Equipos. R.F.G. Bonny Ltda., utiliza principalmente dentro de su proceso de producción tanques mezcladores para la elaboración de esmaltes y vinilos. A continuación, en el cuadro 2, se presentan las fotografías de los equipos presentes en la planta de producción.

Cuadro 2. Equipos R.F.G. Bonny Ltda.

<p>Mezcladora – 10 galones – Silverson</p>	<p>Mezcladora – 10 galones – Silverson</p>
	
<p>Mezcladora – 10 galones – Silverson</p>	<p>Molino mezclador – Bauker</p>
	

Cuadro 2. (Continuación)



1.3 GENERACIÓN DE RESIDUOS

Los residuos líquidos dentro de la industria de producción de pinturas se generan principalmente en el proceso de producción de vinilos y en la limpieza de los equipos utilizados para la producción de esmaltes; dentro de dichos residuos líquidos la contaminación se genera mediante la carga de materia orgánica que se presenta debido al uso recurrente de sustancias orgánicas utilizadas como solventes y preservantes.

Dentro de las fuentes de generación de residuos líquidos en la industria de pinturas se encuentran el lavado de tanques de preparación de pinturas en base solvente, el lavado de tanques para la preparación de pinturas en base agua y el lavado de pisos y utensilios dentro de la fábrica.

1.3.1 Producción. Dentro del proceso de producción de pinturas se realizan diferentes operaciones unitarias como la molienda y el mezclado además de realizar diferentes pruebas de estabilidad. Una vez que la pintura obtenida obtiene la consistencia deseada la misma es filtrada con el fin de eliminar impurezas.

El proceso general inicia con la mezcla de pigmentos, resinas y agentes secantes dentro de un mezclador de alta velocidad seguido por la adición de solventes y agentes plastificantes; posteriormente el material obtenido es transferido a un tanque donde se vuelven a agregar algunos solventes y se añaden tintes.

Dentro del proceso descrito no se hace mención a los efluentes contaminantes que resultan del tratamiento, los mismos provienen del lavado de equipos y utensilios para la elaboración del producto. Con el fin de conocer alternativas que puedan resolver el problema al cual se enfrenta en este momento R.F.G. Bonny Ltda., el cual consiste en la ausencia de un tratamiento para las aguas residuales industriales provenientes del proceso de producción, a continuación se evaluarán las operaciones que pueden aplicarse al agua residual industrial para disminuir las concentraciones de contaminantes.

1.3.2 Normativa. El 15 de marzo del 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emitió la Resolución 0631 mediante la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Dicha resolución establece los valores máximos para las diferentes industrias de Colombia y los límites instituidos para la fabricación de pinturas se exhiben en la tabla 1.

Tabla 1. Límites establecidos en la normativa para el vertimiento de aguas

Niveles máximos permisibles en descargas de efluentes al alcantarillado público		
Parámetro	Unidades	Resolución 0631 del 2015
Generales		
Temperatura	°C	30
pH	Unidades	6,0 - 9,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	1200
Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	600
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	300

Tabla 1. (Continuación)

Niveles máximos permisibles en descargas de efluentes al alcantarillado público		
Parámetro	Unidades	Resolución 0631 del 2015
Generales		
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	3
Grasas y Aceites	mg/L	30
Fenoles	mg/L	0,2
Hidrocarburos		
Hidrocarburos totales	mg/L	10

Teniendo en cuenta los parámetros exhibidos en la tabla 2 a continuación se describe, brevemente, la importancia de cada uno de estos en las aguas residuales industriales y qué factores los afectan de tal manera que sus concentraciones se ven en niveles críticos.

1.3.2.1 pH. El potencial de hidrogeniones expresa la concentración del ion hidrógeno en una muestra de agua, se utiliza para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución aunque no mide la acidez o la alcalinidad total⁵.

1.3.2.2 Demanda Química de Oxígeno. Éste parámetro mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química. Durante la determinación de la DQO la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono y agua sin importar que tan asimilable biológicamente sea la sustancia⁶.

1.3.2.3 Demanda Biológica de Oxígeno. Es una medida de la concentración de oxígeno utilizada por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas durante cinco días y a 20 °C. Se podría referir a esta como una indicación indirecta del carbono orgánico biodegradable presente en una masa líquida dada⁷.

⁵ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004, p.19

⁶ Ibid., p. 54.

⁷ Ibid., p. 38.

1.3.2.4 Sólidos Suspendidos Totales. Se refieren a pequeñas cantidades de materia orgánica y material suspendido en el agua; éste parámetro se asocia con la turbidez del agua ya que una alta concentración de dichas partículas impide el paso de la luz a través de ésta⁸.

1.3.2.5 Sólidos Sedimentables. Son el grupo de sólidos cuyos tamaños de partículas corresponden a diez o más micras y, debido a la acción de la gravedad, se pueden sedimentar⁹.

1.3.2.6 Grasas y Aceites. Es el conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua; éstas sustancias, junto con las ceras, son los principales lípidos de importancia en las aguas residuales industriales. Las grasas y aceites son complicadas de transportar en las tuberías de alcantarillado ya que reducen la capacidad de flujo de los conductos, son difíciles de atacar biológicamente y requieren de la remoción en plantas de pre-tratamiento¹⁰.

1.3.2.7 Fenoles. Son alcoholes aromáticos con un grupo hidroxilo unido directamente a un átomo de carbono de un anillo bencénico. La presencia de fenoles en aguas naturales tiene por origen las contaminaciones industriales (fabricas químicas, coquerías, industria papelera, refinerías, petroquímica, polímeros, etc.) Estos productos que se oxidan débilmente, se fijan poco y se filtran con facilidad. La descomposición de productos vegetales, como la lignina, así como las aguas residuales industriales de la celulosa pueden propagar la emisión de productos fenólicos. Estas sustancias también pueden aparecer por degradación de los productos fitosanitarios (pesticidas, fungicidas, herbicidas, etc.)
¹¹.

1.3.2.8 Hidrocarburos Totales. Los hidrocarburos encontrados en las aguas pueden proceder de efluentes de fábricas de gas, de la petroquímica, de talleres de mecánica, humos de chimeneas, etc. Algunos hidrocarburos policíclicos pueden tener origen natural en los suelos de los bosques de abetos rojos y hayas en torno a lagos¹².

⁸ Ibid., p. 60.

⁹ Ibid., p. 60.

¹⁰ Ibid., p. 59.

¹¹ Ibid., p. 58.

¹² Ibid., p. 60.

2. DIAGNÓSTICO

Con el fin de formular el tratamiento adecuado para el sistema de reducción de contaminantes en las aguas residuales industriales se debe realizar la caracterización del efluente para obtener las concentraciones iniciales de los parámetros descritos en la norma y con éstas conocer cuáles son aquellos que exceden los límites permisibles.

Actualmente R.F.G. Bonny Ltda., cuenta con un sistema de tratamiento poco eficiente por lo cual es necesario realizar las modificaciones precisas que puedan ayudar a disminuir el impacto negativo al ambiente. A continuación, se describe de manera general el consumo de agua en la fábrica.

2.1 CONSUMO DE AGUA

Según los datos exhibidos en la tabla 2 es posible afirmar que el consumo general de agua en la fábrica R.F.G. Bonny Ltda., es de 35,7 m³ cada dos (2) meses, lo cual corresponde a 17,8 m³ mensuales, dicho promedio es calculado a partir de las facturas emitidas por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C.

Tabla 2. Consumo general de agua

Periodo	1	2	3	4	Promedio
Año	2015		2015 - 2016	2016	
Mes	Ago - Sep	Oct - Nov	Dic - Ene	Feb - Mar	
Consumo (m ³)	34,3	36,5	36,7	35,2	

2.1.1 Consumo agua – Producción. Debido a que dentro de las materias primas para la producción de pinturas se utiliza una cantidad considerable de compuestos orgánicos las concentraciones de contaminantes como los sólidos suspendidos totales, los sólidos sedimentables, la DQO y la DBO₅ suelen ser superiores a lo establecido por la norma.

De acuerdo a lo dicho los aportes de la materia orgánica dependen de la eficiencia en la limpieza realizada a las instalaciones e implementos de la fábrica antes de iniciar los procesos de lavado y mezclado. Según los registros de R.F.G. Bonny Ltda., únicamente el 20% del consumo total de agua es utilizado directamente en los procesos, es decir 3600L cada mes aproximadamente lo que se evidencia en el diagrama 3 que corresponde al balance hídrico, el consumo restante se divide entre la limpieza de equipos, la limpieza de las áreas de producción y el consumo doméstico.

2.1.2 Consumo agua – Doméstico. Las aguas de uso doméstico dentro de R.F.G. Bonny Ltda., corresponden a las utilizadas en las descargas de las cisternas debido a que dentro de la fábrica únicamente se encuentran baños separados por género, no se dispone ni de duchas ni de cocina. Se realizó la estimación de que cada empleado utilizaría 15L de agua al día lo cual equivaldría a 120L diarios de agua residual doméstica, dicha estimación se realizó teniendo en cuenta la tabla 3, y esto a su vez correspondería a 2880L mensuales.

Tabla 3. Consumo agua por persona al día

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	CONSUMO (L)
Doméstica	Baño	100-150
	Ducha (5min)	100
	Lavado de ropa	75-100
	Cocina	30
	Cisterna	10-15
Industrial	Automóvil USA	400.000
	1Kg acero	250
	periódico	500-1000

Fuente: GERARD, Kiely. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. VII. Universidad de las palmas, Gran Canaria. 1999. P. 595

2.1.3 Agua Residual. Según lo expuesto las aguas residuales de R.F.G. Bonny Ltda., corresponden a líquidos industriales y líquidos domésticos que provienen del lavado de tanques y utensilios dentro de la fabricación de pinturas y en el uso de baños, respectivamente.

2.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS

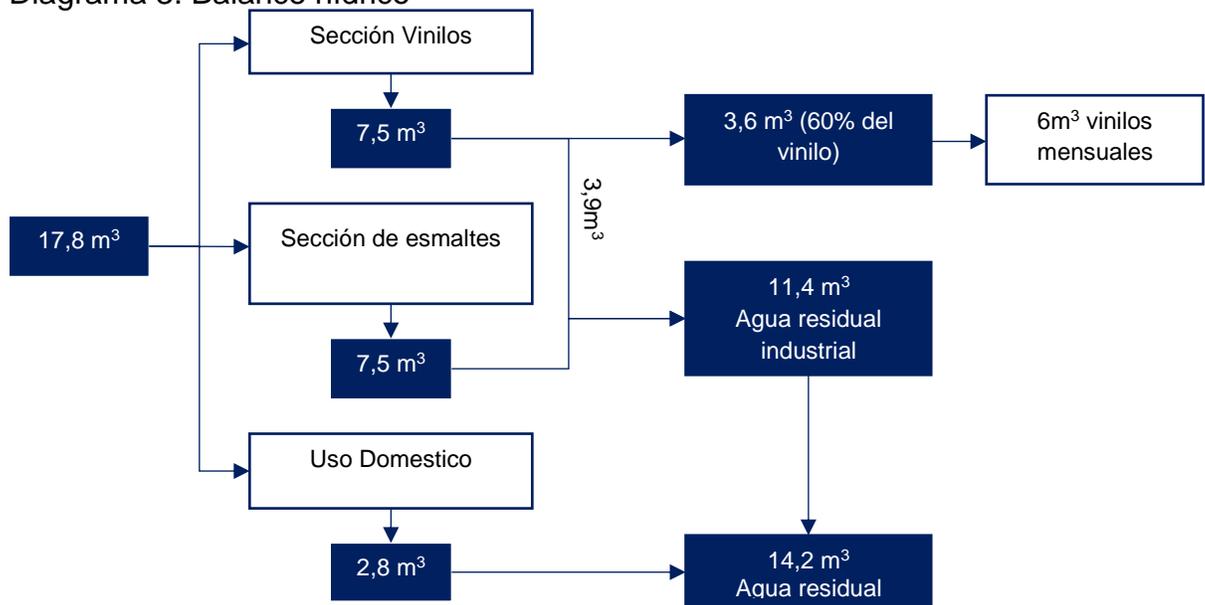
Como se mencionó con anterioridad, una de las fuentes principales de generación de residuos es el lavado de los tanques utilizados para la preparación de pinturas ya que dicho lavado se realiza fundamentalmente con agua que una vez utilizada es desechada en unos tanques o una caja de sedimentación y filtración; además, el lavado de pisos y utensilios influye en las aguas residuales industriales.

2.2.1 Agua residual – Lavado de tanques. El lavado de los tanques utilizados para la producción de pinturas se realiza tres veces por semana, se realiza de esta manera ya que es necesario limpiar el tanque una vez el color del producto se desee cambiar y esto se hace de manera cíclica. Una vez el tanque es lavado el residuo líquido es depositado en otro tanque, dicho tanque es utilizado únicamente con el fin de almacenar las aguas provenientes del lavado de los tanques.

2.2.2 Agua residual – Lavado de pisos y utensilios. Las aguas residuales provenientes del lavado de pisos y utensilios son consideradas aguas residuales debido a las trazas del producto que pueden tener en ellas por lo cual son tratadas de la misma manera que las aguas provenientes del lavado de tanques.

2.2.3 Balance hídrico. A continuación, en el diagrama 3, se exhibe el balance hídrico general de R.F.G. Bonny Ltda., donde se da una idea general de las cantidades de agua residual industrial generadas mensualmente por la fábrica.

Diagrama 3. Balance hídrico



El volumen de agua utilizado para los procesos, 3600L, se calculó conociendo el volumen total de vinilos producidos en R.F.G. Bonny Ltda., mensualmente, 6000L, teniendo en cuenta que la relación de agua por cada litro de vinilo es del 60%.

De acuerdo a los datos proporcionados por el diagrama 3 es posible señalar que las aguas residuales de R.F.G. Bonny Ltda., corresponden a las utilizadas para el lavado de equipos, pisos y utensilios además de las aguas resultantes por el uso doméstico; dichas aguas se tienen en cuenta dentro de este trabajo de grado debido a que dentro de la fábrica no hay separación de redes por lo cual las aguas residuales domésticas atraviesan la trampa de grasas y son vertidas al medio junto a las aguas residuales industriales.

2.3 TRATAMIENTO ACTUAL R.F.G. BONNY LTDA.

Actualmente R.F.G. Bonny Ltda., cuenta con un tratamiento mínimo que consiste en tanques de almacenamiento, una caja de sedimentación y filtración y una trampa de grasas.

2.3.1 Lavado de tanques, pisos y utensilios. Aquí se realiza el mantenimiento de los tanques mezcladores para el cambio de color y la elaboración de pinturas.

Fotografía 1. Área para el lavado tanques y equipos



2.3.2 Tanques de almacenamiento. A estos tanques, como ya se mencionó con anterioridad, llegan las aguas provenientes del lavado de los equipos y los tanques de mezcla. Entre dos (2) y tres (3) horas después de que las aguas han estado en el tanque se deja que pasen a la caja de sedimentación y filtración y posteriormente a la trampa de grasas, el tiempo de espera se realiza con el fin de que los sólidos sedimentables se precipiten en la base.

Fotografía 2. Tanques de almacenamiento



2.3.3 Caja sedimentación y filtración. A esta rejilla, que actúa como una caja de sedimentación y filtración, se añaden las aguas provenientes de los tanques de almacenamiento exhibidos en la fotografía 2; aquí el agua se sedimenta y posteriormente para por una malla de perforación cuyo objetivo es retener una parte de los sólidos presentes en las ARI.

Fotografía 3. Caja de sedimentación y filtración.



2.3.4 Trampa de grasas. La trampa de grasas se utiliza con el fin de retirar los residuos de grasas y aceites que lleva el efluente, además, ésta remueve partículas con diámetros grandes y residuos de pinturas. El tiempo de retención en la trampa de grasas es de tres minutos y la misma se observa en la fotografía 4.

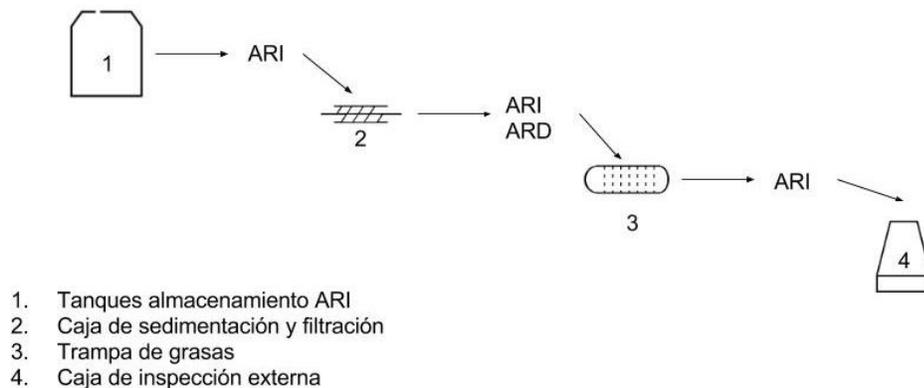
Fotografía 4. Trampa de grasas



2.3.5 Sistema de tratamiento actual. Según lo expuesto con anterioridad y teniendo en cuenta las fotografías 1, 2, 3 y 4 es posible señalar el sistema de tratamiento actual con el que cuenta R.F.G Bonny Ltda., el cual se presenta en el diagrama 4.

Diagrama 4. Sistema de tratamiento actual

ARI Procedentes del lavado de equipos, utensilios y tanques.



2.4 CARACTERIZACIÓN

Con el fin de conocer las características físicas y químicas de las aguas residuales industriales de R.F.G. Bonny Ltda., se analizará el efluente de la fábrica; la caracterización en este caso corresponde a la determinación del caudal y la carga contaminante del sistema.

A continuación, se describe la caracterización realizada a las aguas residuales industriales de R.F.G. Bonny Ltda., los parámetros aquí presentados son aquellos que tienen un límite establecido por la normativa en la Resolución 0631 del 2015 mediante la cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

2.4.1 Determinación de caudal. Para obtener el volumen de agua emitida por unidad de tiempo se procedió a utilizar el método de llenado de recipiente donde se tomó un recipiente con un volumen conocido y se procedió a medir el tiempo requerido para el llenado del mismo. A continuación, en la tabla 4, se exhiben los valores reportados durante el monitoreo compuesto realizado.

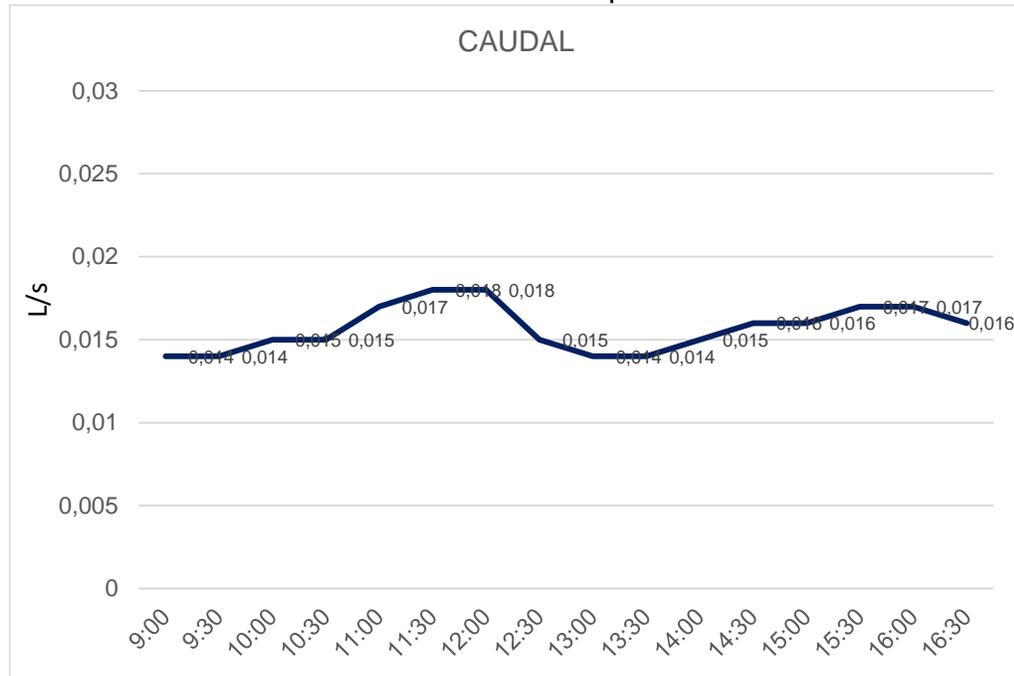
Tabla 4. Valores de caudal reportados

Hora	Caudal (L/s)
9:00	0,014
9:30	0,014
10:00	0,015
10:30	0,015
11:00	0,017
11:30	0,018
12:00	0,018
12:30	0,015
13:00	0,014
13:30	0,014
14:00	0,015
14:30	0,016
15:00	0,016
15:30	0,017
16:00	0,017
16:30	0,016

El monitoreo compuesto se realiza con el fin de conocer la tendencia que tiene el caudal dentro de la fábrica de producción, como se evidencia en la gráfica 1 los

valores obtenidos se encontraron todos cercanos y no variaron mucho al encontrarse todos entre los 0,014 L/s y los 0,018 L/s. Las horas donde los valores se encontraron en los mínimos se debieron a que la producción acababa de empezar o se encontraban en horas de almuerzo.

Gráfica 1. Valores caudal – monitoreo compuesto



Actualmente la normativa no exige un límite en cuanto a la cantidad de efluente que emite la fábrica por unidad de tiempo, aun así, la determinación de este parámetro es importante con el fin de generar una alternativa al sistema de tratamiento de R.F.G Bonny Ltda.; además, ayuda a conocer las concentraciones finales del porcentaje de remoción en carga.

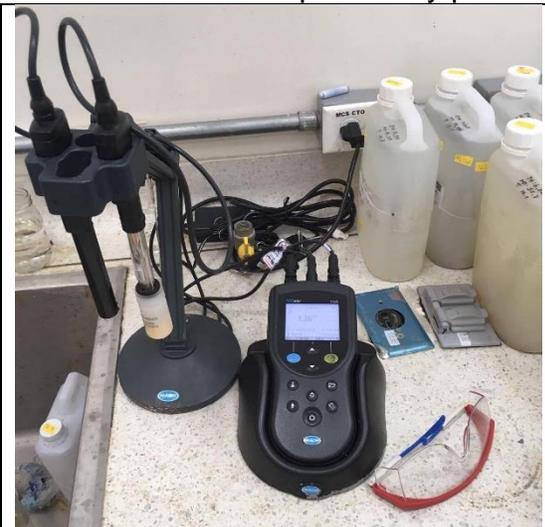
2.4.2 Determinación de temperatura y pH. Se analizó la temperatura de la muestra ya que este parámetro es de especial interés para así establecer la posibilidad de contaminación térmica; además, la temperatura incide en la velocidad de las reacciones químicas y los procesos biológicos

Anexo a la temperatura se determinó el pH puesto que este parámetro señala las tendencias hacia la acidez o la alcalinidad que presenta una muestra de agua, sin dar los valores exactos de la acidez o la alcalinidad, y esto es importante debido a que los procesos de coagulación y floculación se deben realizar en condiciones básicas.

Al igual que en el caso del caudal, la determinación de pH y temperatura se realiza in situ, durante un monitoreo compuesto, introduciendo el electrodo del equipo

presentado en la fotografía 5 dentro de la muestra de ARI y leyendo la concentración de los parámetros en la pantalla. A continuación, en la tabla 5, se presentan los valores reportados durante el monitoreo realizado a las aguas residuales industriales de R.F.G. Bonny Ltda.

Fotografía 5. Equipo para la determinación de temperatura y pH



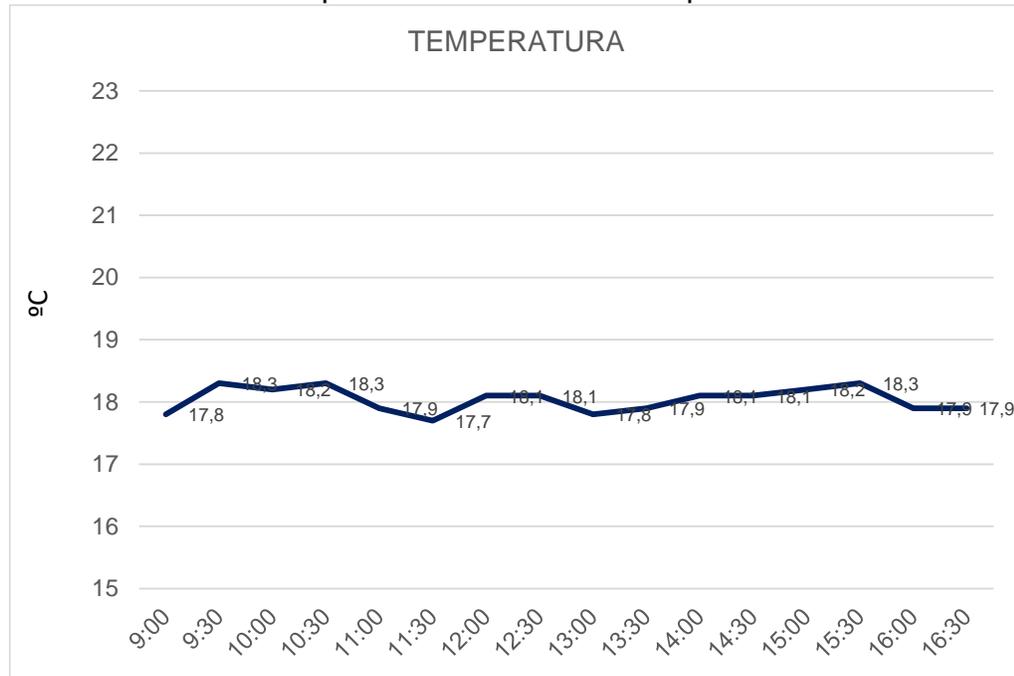
pHmetro –HACH 10105

Tabla 5. Valores de temperatura y pH reportados

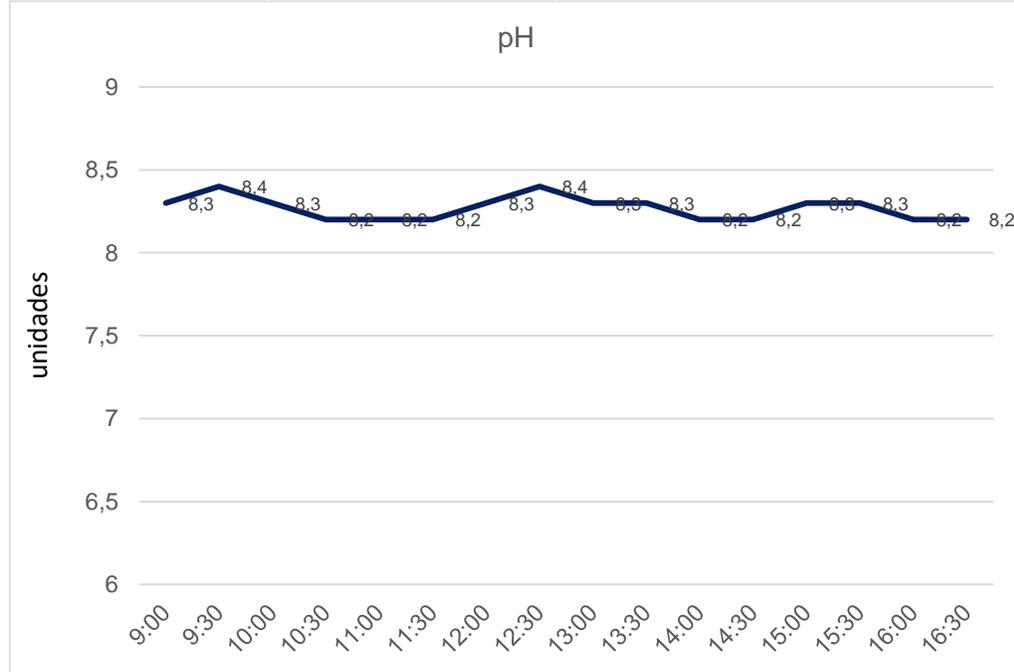
Hora	Temperatura (°C)	pH (unidades)
9:00	17,8	8,3
9:30	18,3	8,4
10:00	18,2	8,3
10:30	18,3	8,2
11:00	17,9	8,2
11:30	17,7	8,2
12:00	18,1	8,3
12:30	18,1	8,4
13:00	17,8	8,3
13:30	17,9	8,3
14:00	18,1	8,2
14:30	18,1	8,2
15:00	18,2	8,3
15:30	18,3	8,3
16:00	17,9	8,2
16:30	17,9	8,2

La tabla 4, además de las gráficas 2 y 3, evidencian que en ambos casos las concentraciones reportadas no tuvieron variaciones representativas, lo cual señala una tendencia constante por parte de la temperatura y el pH en las ARI de R.F.G Bonny Ltda.

Gráfica 2. Valores temperatura – monitoreo compuesto



Gráfica 3. Valores pH – monitoreo compuesto



2.4.3 Determinación de DQO y DBO₅. Las aguas con concentraciones altas de DQO y DBO₅ suelen dar interferencias en ciertos procesos industriales; la relación entre estos dos (2) parámetros es un indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante¹³.

La determinación de la DBO₅ se realizó mediante el método presentado en el diagrama 5; para calcular el valor numérico de la DBO₅ se utiliza la fórmula presentada en la ecuación 1 una vez se han determinado los niveles de oxígeno disuelto presentes en las muestras del blanco y el agua residual industrial antes de la incubación y después de la incubación.

Ecuación 1. Concentración DBO₅

$$DBO_5 \frac{mgO_2}{L} = \left(\frac{OD\ inicial - OD\ final}{Vm} \right) * V \quad (1)$$

Dónde:

¹³ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004, p.38;54

(1)

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Documentación. Subdirección de hidrología – Grupo laboratorio de calidad ambiental.

OD inicial: corresponde a la concentración de oxígeno disuelto reportada antes de iniciar el periodo de incubación.

OD final: corresponde a la concentración de oxígeno disuelto reportada después de finalizar el periodo de incubación.

V: volumen de la botella Winkler

V_m: volumen de la alícuota de la muestra afectada por el factor de dilución.

Fotografía 6. Equipo para la determinación DBO₅

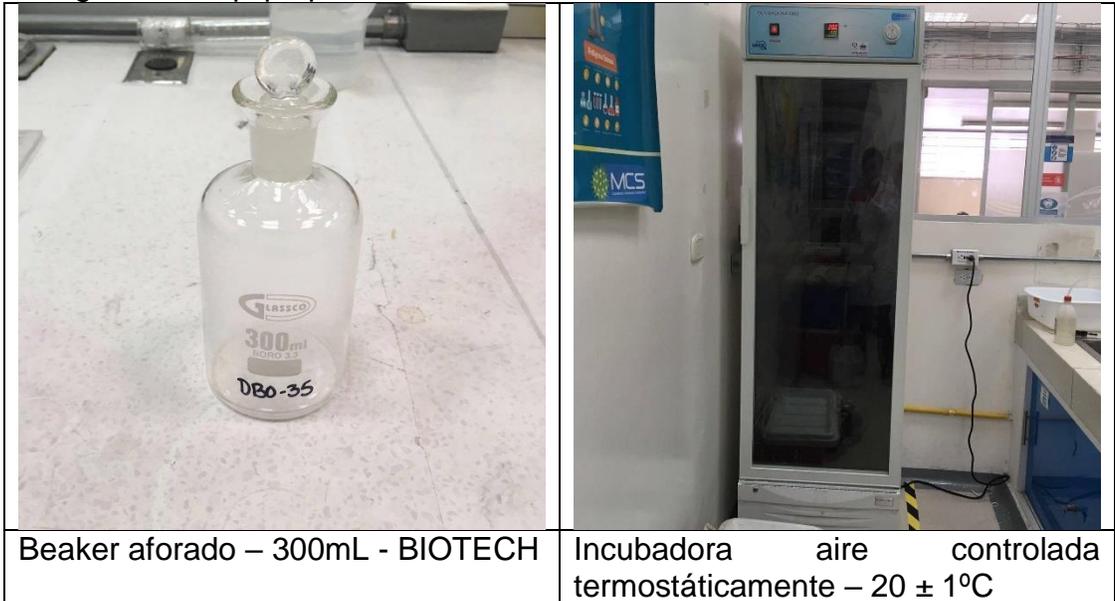
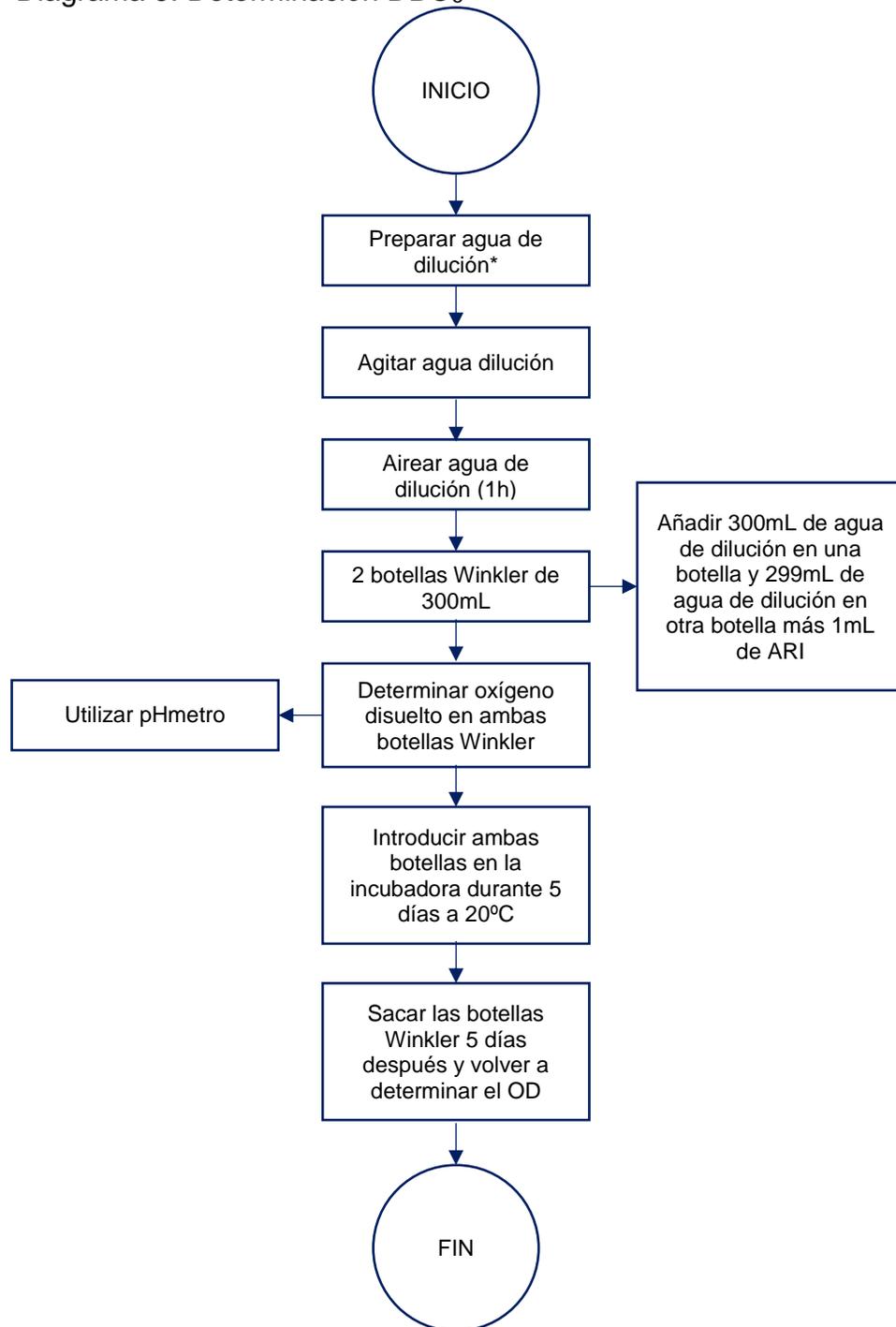
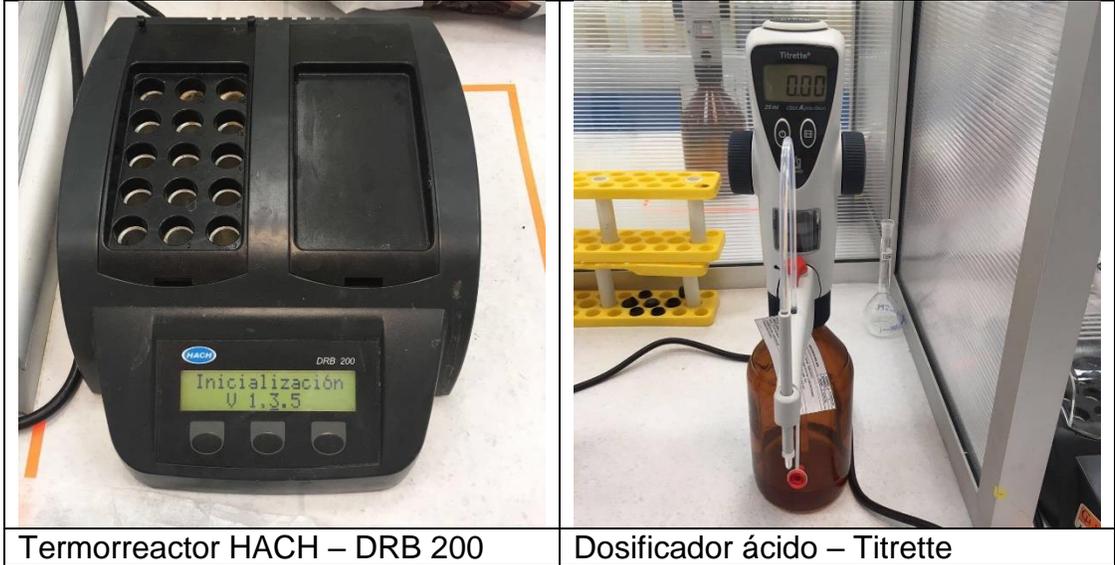


Diagrama 5. Determinación DBO₅



*Nota: El agua de dilución contiene 1mL de solución tapón de fosfato, 1mL de solución sulfato de magnesio, 1mL de solución cloruro de hierro, 1mL solución cloruro de calcio y 1000mL de agua destilada.

Fotografía 7. Equipo para la determinación DQO



Para la determinación de la DQO se llevó a cabo el método descrito en el diagrama 6.

Para calcular el valor numérico de la DQO se utiliza la fórmula presentada en la ecuación 2.

Ecuación 2. Concentración DQO

$$DQO \frac{mgO_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}} \quad (2)$$

Dónde:

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

B: mL de FAS utilizado para la muestra

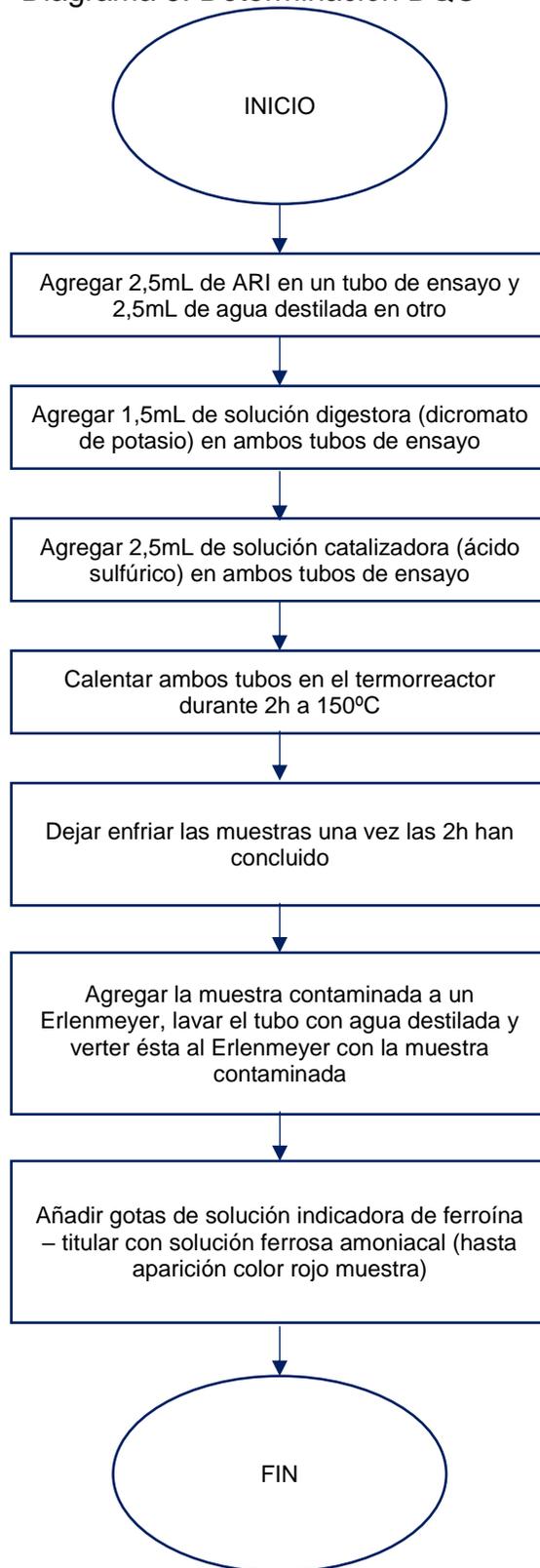
N: normalidad del FAS

8: peso equivalente del oxígeno

(2)

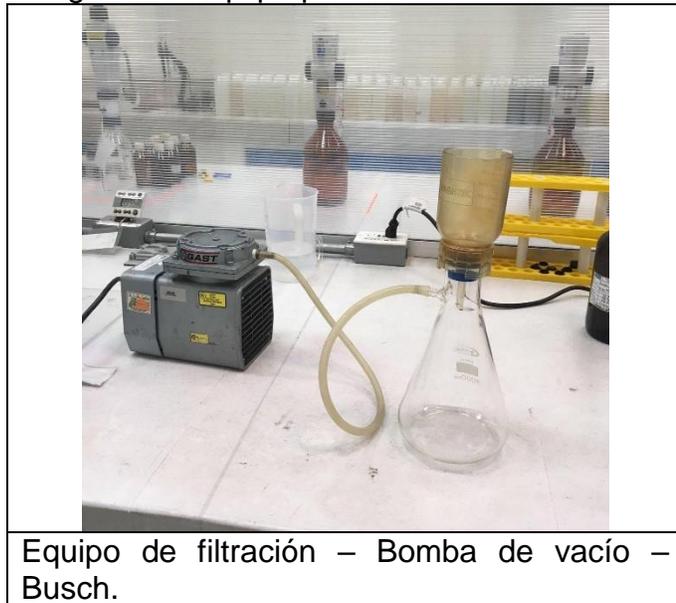
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Documentación. Subdirección de hidrología – Grupo laboratorio de calidad ambiental.

Diagrama 6. Determinación DQO



2.4.4 Determinación sólidos suspendidos totales. Son sólidos que pueden ser retenidos en un filtro dependiendo de su tamaño de partícula, concentraciones altas inciden en la turbidez del agua. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las calderas, equipos, etc; en aguas residuales tratadas pueden ser un factor importante de control de calidad¹⁵.

Fotografía 8. Equipo para la determinación SST



Para encontrar la concentración de sólidos suspendidos totales se utilizó el método descrito en el diagrama 7; la concentración final del parámetro se calculó mediante la fórmula descrita en la ecuación 3.

Ecuación 3. Concentración SST

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{V} \quad (3)$$

Dónde:

A: Peso final del conjunto (crisol + filtro + residuo seco) en mg

B: Peso inicial del conjunto (crisol + filtro) en mg

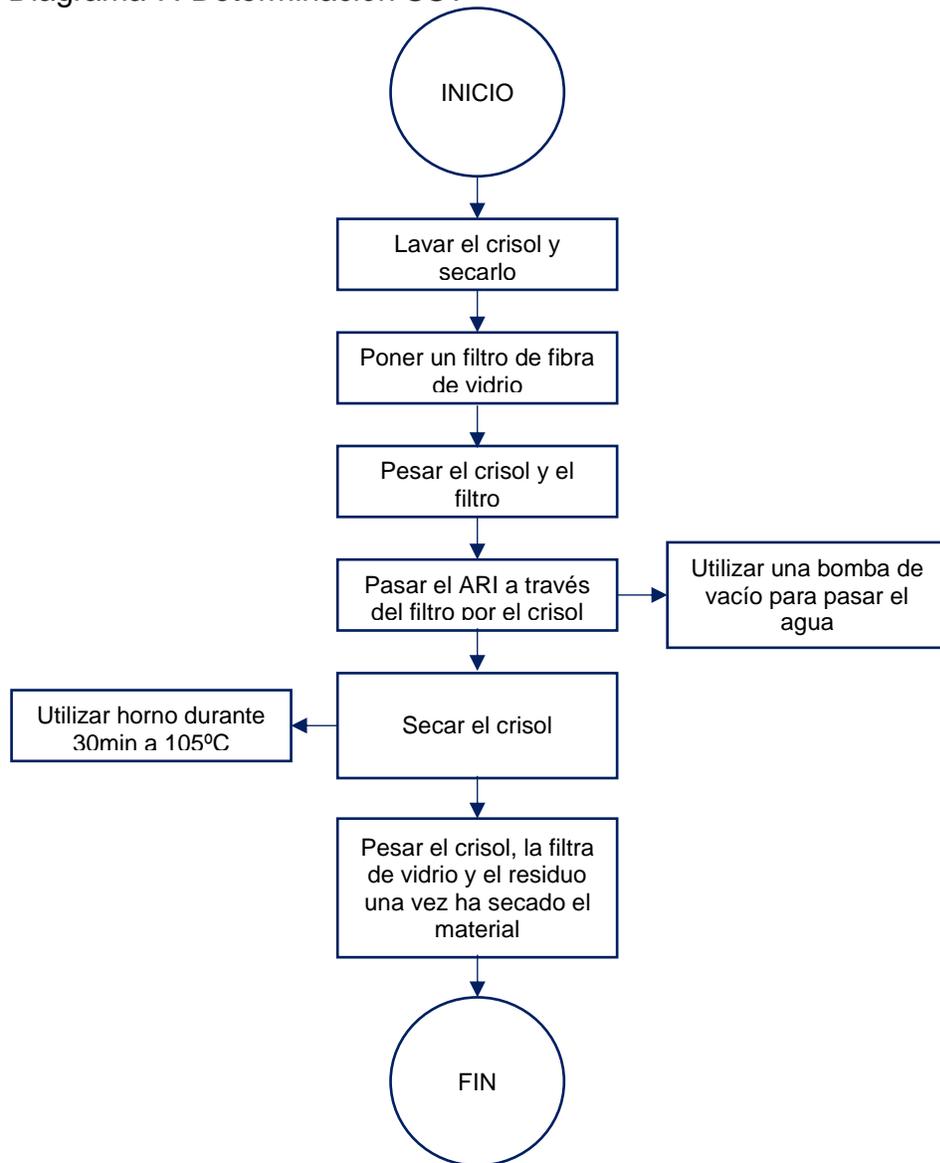
V: Volumen de muestra filtrada

¹⁵ Ibid., p.70

(3)

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Documentación. Subdirección de hidrología – Grupo laboratorio de calidad ambiental.

Diagrama 7. Determinación SST



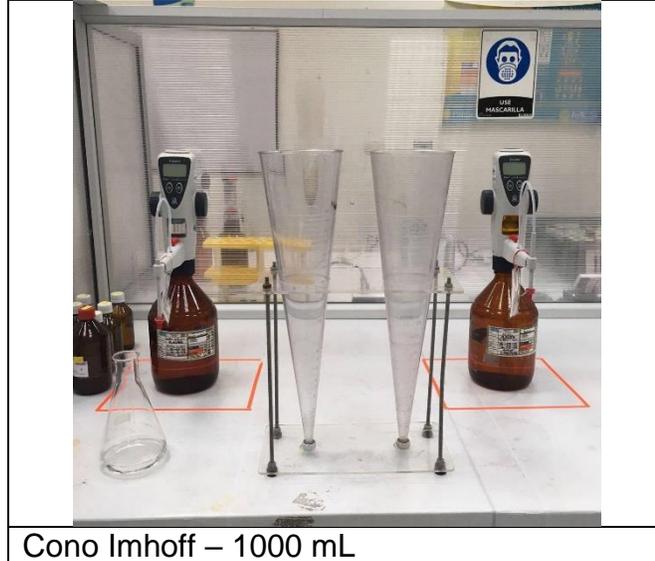
2.4.5 Determinación sólidos sedimentables. Estos sólidos representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple debido a que por acción de la gravedad se precipitan, pueden inferir negativamente en las tuberías y en los equipos de las fábricas¹⁶.

Para la determinación de los SSED se utilizó el equipo presentado en la fotografía 9 donde se vertieron 1000mL de ARI y se esperó durante una hora para que los

¹⁶ Ibid., p.68

sólidos presentes se precipitaran, al finalizar el tiempo de sedimentación se determinó mediante la observación la concentración de SSED en mL/L.

Fotografía 9. Equipo para la determinación SSED



Cono Imhoff – 1000 mL

2.4.6 Determinación grasas y aceites. La concentración de grasas y aceites en las aguas residuales industriales provenientes de la industria manufacturera de pinturas suelen ser representativas debido a la cantidad de compuestos orgánicos presentes en la producción¹⁷.

Fotografía 10. Equipo para la determinación G&A e HT.

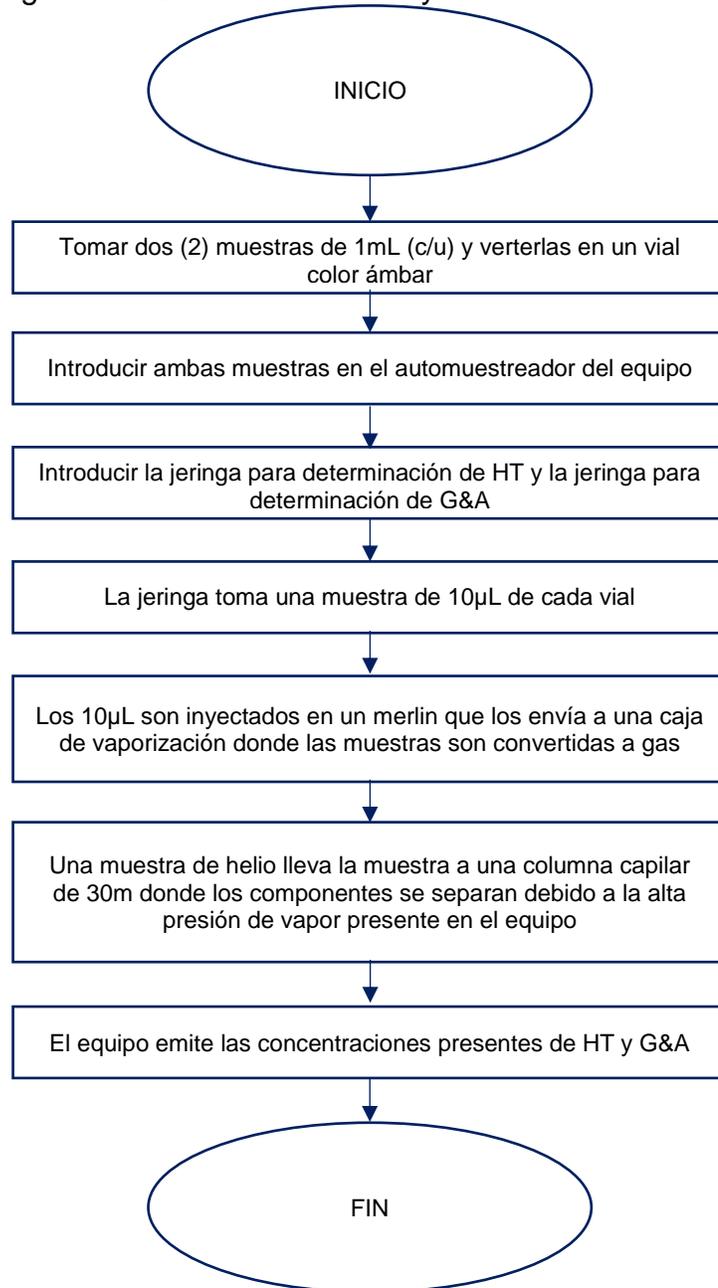


Cromatógrafo de gases modelo 500

¹⁷ FUNDACIÓN ENTORNO EMPRESA Y MEDIO AMBIENTE. Informe medioambiental del sector pinturas y barnices. España, 1998, p. 13

Concentraciones altas de éste parámetro generan películas en la superficie del agua y afectan el paso de luz a través de la misma. La normativa exige una concentración límite de hidrocarburos totales debido a que los mismos son compuestos altamente contaminantes en las aguas¹⁸. Concentraciones altas infieren en el color, la turbidez, la DQO y la DBO₅ entre otros.

Diagrama 8. Determinación HT y G&A

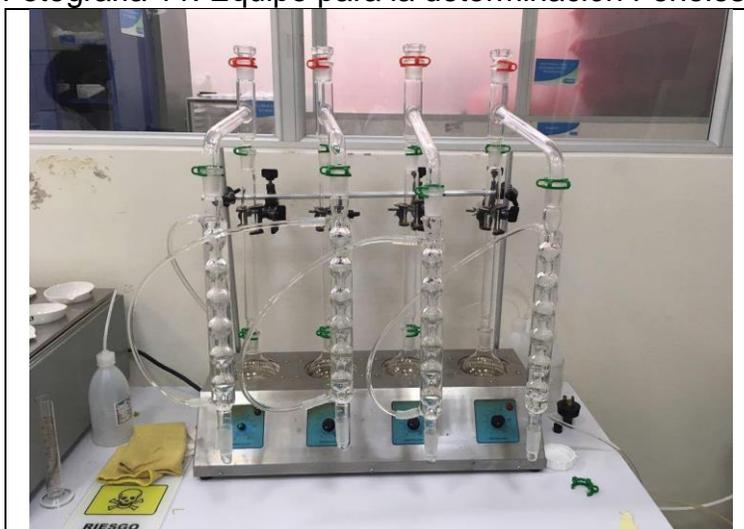


¹⁸ Ibid, p. 14

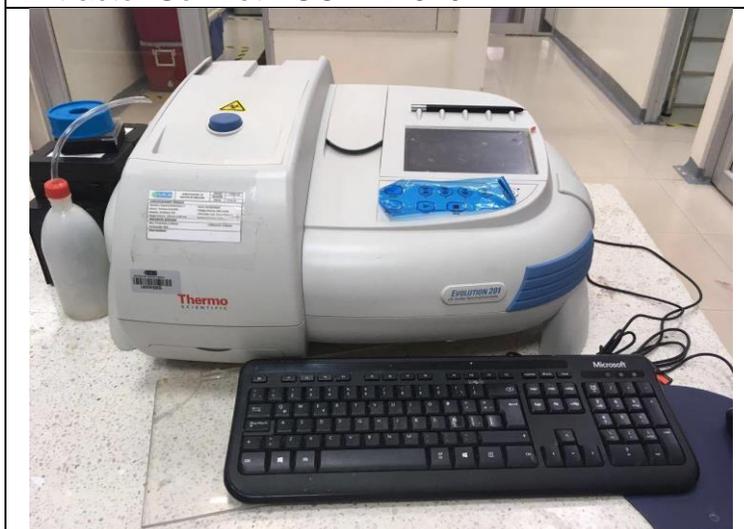
Para determinar la concentración de HT y G&A se llevó a cabo el método descrito en el diagrama 8.

2.4.7 Determinación fenoles. La concentración promedio de fenoles en aguas no contaminadas es de $2\mu\text{g/L}$, concentraciones superiores evidencian que debido a las actividades industriales el agua ha sido contaminada¹⁹.

Fotografía 11. Equipo para la determinación Fenoles



Extractor Soxhlet BÜCHI B-810



Espectrofotómetro – UV/VIS – Thermo scientific

Para la determinación de fenoles totales se utilizan los equipos enseñados en la fotografía 11 dónde la muestra de ARI atraviesa el Extractor Soxhlet BÜCHI B-810

¹⁹ CONRADO, CAMACHO Y CAMPOS. Compuestos fenólicos y el medio ambiente. Cuba, p. 7

y posteriormente es ingresada al espectrofotómetro donde el equipo determina la concentración presente del parámetro.

2.4.8 Caracterización inicial. El monitoreo y la caracterización del agua residual industrial proveniente de R.F.G. Bonny Ltda., se llevó a cabo el 6 de junio del 2016 en las instalaciones de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental; dicho análisis se realizó con el fin de conocer las concentraciones de los contaminantes en el afluente.

Estos ensayos fueron realizados siguiendo la metodología exhibida en el ANEXO A donde se describen las técnicas establecidas por el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.

Debido a que no se contaba con los equipos necesarios para la determinación de metales, se decidió omitir estos parámetros en la experimentación planteada. Se informó a la empresa R.F.G. Bonny Ltda., que se requiere el análisis de éstos con el fin de obtener el estado real del vertimiento.

2.4.9 Resultados. A continuación, en la tabla 6, se presentan los resultados obtenidos durante la caracterización realizada a la muestra de agua residual industrial proveniente de R.F.G. Bonny Ltda.

Tabla 6. Resultados caracterización inicial

Parámetro	Unidades	Resultados	Resolución 0631 del 2015
Temperatura	°C	18	30
Caudal	L/s	0,015	-
pH	Unidades	8,2	6,0 - 9,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	6.080	800
Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	1.430	400
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	2.470	200
Sólidos sedimentables (SSED)	mg/L	3	2
Grasas y Aceites	mg/L	13	20
Fenoles	mg/L	<0,2	0,2
Hidrocarburos totales	mg/L	<0,1	10

Además de la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los sólidos, tanto suspendidos como sedimentables, los demás parámetros analizados dan cumplimiento a lo establecido como permisible en la Resolución

0631 del 2015 por lo cual el tratamiento planteado en este documento tendrá como prioridad reducir las concentraciones de materia orgánica en descomposición presente en el agua.

3. TRATAMIENTO

El objetivo de los tratamientos para aguas residuales es eliminar los compuestos contaminantes que éstas presentan, aquellos que generan efectos nocivos en la salud o el medio ambiente y de ésta manera adecuar los recursos hídricos a la normativa local. Para tratar las aguas residuales se debe tener en cuenta la composición de éstas y las concentraciones de los contaminantes.

En la mayoría de los casos de aguas residuales industriales es suficiente un proceso que incluya un tratamiento primario y secundario; los tratamientos específicos son necesarios únicamente en aguas que poseen concentraciones importantes de metales pesados, pesticidas y otras sustancias que atravesarían fácilmente un tratamiento primario e inhibirían el tratamiento biológico²⁰. A continuación se describen las etapas de tratamiento y algunos de los procesos utilizados en estas.

3.1 PRETRATAMIENTO

Es el primer proceso a realizar, consta de operaciones sencillas que adecuan al agua para su posterior purificación; realizar este proceso de manera adecuada evitará la erosión de bombas, la acumulación de sólidos en el fondo de los recipientes y el taponamiento de las tuberías²¹.

3.1.1 Cribado. Se utiliza para reducir sólidos en suspensión de diferentes tamaños, la abertura de las rejillas depende del objetivo de éstas y su limpieza se puede hacer manualmente o mecánicamente²².

3.1.2 Desarenado. Se utiliza con el fin de separar los sólidos de mayor tamaño presentes en las aguas residuales industriales mediante la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido en el que están presentes²³.

²⁰ BENITEZ RODAS, Gilberto Antonio. Análisis y modelización de la inactivación de Escherichia Coli en aguas residuales. Madrid, 2013, p.11

²¹ Ibid, 12

²² R.S. Ramalho. Tratamientos de aguas residuales. En: Pretratamientos y Tratamientos primarios. QUEBEC, 2011, p. 92

²³ Ibid, 92

3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO²⁴

Dentro del tratamiento primario se cuentan los procesos que utilizan dispositivos diseñados para la remoción de materia suspendida en la superficie o sedimentada en el fondo del líquido mediante métodos físicos y mecánicos.

3.2.1 Flotación. Es un sistema de separación de sólidos en medio líquido utilizado para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en las ARI, se utiliza principalmente para la separación de grasas y aceites, material fibroso y sólidos de baja densidad.

3.2.2 Homogenización. Consiste en la mezcla de las corrientes de aguas residual en un tanque y la utilización de agitación para producir un efluente de características idénticas en todos los puntos del fluido.

3.2.3 Neutralización. Mediante la neutralización se quiere eliminar la acidez o la alcalinidad que presentan las aguas residuales industriales, en su mayoría; generalmente se consigue mezclando vertidos con un pH opuesto.

3.2.4 Precipitación. Se entiende por precipitación la formación de compuestos insolubles de los elementos indeseables contenidos en un agua por acción de los reactivos apropiados.

3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Recibe las aguas provenientes del tratamiento primario y realiza tratamientos más complejos para reducir los sólidos en suspensión o disueltos y la DBO₅; contiene unidades de tratamiento que efectúan la acción biológica²⁵.

3.3.1 Coagulación. Se entiende como la desestabilización de partículas mediante la acción de sustancias químicas, se realiza en tanques de mezcla rápida en los cuales el agua es sometida a una agitación muy fuerte para generar una solución homogénea del coagulante y el agua en poco tiempo²⁶.

²⁴ VALENCIA MONTOYA, Guillermo. Tratamientos primarios. Universidad de Valle, 1976.

²⁵ R.S. Ramalho. Tratamientos de aguas residuales. En: Pretratamientos y Tratamientos primarios. QUEBEC, 2011, p. 25

²⁶ ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Coagulación y floculación. En: Tratamiento de agua. Lima, 2000, p. 9

3.3.2 Floculación. Es un proceso en el cual se realiza agitación moderada del agua para que haya una aglomeración de las partículas y se desestabilicen durante la coagulación, lo más importante de este proceso es formar microfloculos con un peso superior del agua, compactar el floculo disminuyendo el grado de hidratación y así producir baja concentración volumétrica para ser removidos fácilmente por sedimentación y filtración²⁷.

3.3.3 Ozonización. La oxidación, mediante el uso de ozono, ayuda a eliminar ciertos compuestos orgánicos; en algunos casos la ozonización se puede activar o complementar con luz ultravioleta²⁸.

3.3.4 Tratamientos biológicos. Los tratamientos biológicos consisten en un procedimiento aerobio seguido de una decantación secundaria mediante la cual las bacterias y otros microorganismos son destruidos y se metabolizan en materias orgánicas solubles y coloidales²⁹.

3.4 TRATAMIENTO Terciario³⁰

Se realiza cuando se necesita una depuración mayor de la conseguida con los tratamientos primarios y secundarios.

3.4.1 Adsorción. Se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico.

3.4.2 Intercambio iónico. Proceso mediante el cual se remueve de un agua residual los iones indeseados cambiando a éstos por un número equivalente de iones desechados mediante el contacto del efluente con una resina con iones de carga opuesta.

²⁷ ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Coagulación y floculación. En: Tratamiento de agua. Lima, 2000, p. 33.

²⁸ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Desinfección con ozono. En: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Washington, D.C., 1999.

²⁹ R.S. Ramalho. Tratamientos de aguas residuales. En: Pretratamientos y Tratamientos primarios. QUEBEC, 2011, p. 25

³⁰ Ibid, p. 586 - 617

3.4.3 Ósmosis inversa. Es un proceso en el que el agua se separa de las sustancias disueltas filtrándola a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sustancias en solución. Puede eliminar partículas con un diámetro igual a las moléculas del efluente por lo cual la eficiencia de remoción es superior al 90%.

3.5 MÉTODOS PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES³¹

Como se evidenció en la tabla 5, las concentraciones de materia orgánica en las aguas residuales industriales de R.F.G. Bonny Ltda., son representativas y las mismas son las que contribuyen a que actualmente la fábrica se encuentre por fuera de las especificaciones técnicas establecidas en la normativa.

El objetivo de este trabajo de grado es establecer una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en R.F.G. Bonny Ltda., teniendo en cuenta los parámetros que, durante el análisis, sobrepasaron los límites máximos establecidos en la Resolución 0631 del 2015.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos para la DBO₅, la DQO y los sólidos, tanto suspendidos como sedimentables, se investigaron los métodos más efectivos para disminuir las concentraciones de materia orgánica en las ARI. Dichos métodos se exhiben en el cuadro 3.

Cuadro 3. Métodos para disminuir la concentración de los contaminantes

PARÁMETRO	TIPO DE CONTAMINACIÓN	ALTERNATIVA
DBO ₅	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos biológicos aerobios • Procesos biológicos anaerobios • Ozonización • Clarificación directa
DQO	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos biológicos aerobios • Procesos biológicos anaerobios • Ozonización • Clarificación directa
Sólidos Suspendidos Totales	Física	<ul style="list-style-type: none"> • Clarificación directa
Sólidos Sedimentables	Física	<ul style="list-style-type: none"> • Clarificación directa

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. 3ra ed. 2008, p. 259-270

³¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. 3ra ed. 2008, p. 259-270

3.5.1 Procesos biológicos aerobios. Es un tratamiento secundario que se refiere a un proceso realizado por microorganismos, principalmente protozoos y bacterias, que en la presencia del oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta transformándola en gases y materia celular.

Dentro de los factores que intervienen en los procesos biológicos aerobios se encuentran las características físicas y químicas del agua y los nutrientes presentes en la misma.

Dentro de las ventajas presentes en los procesos biológicos resaltan su efectividad y lo económicos que son comparados con otros métodos, por otra parte, dentro de sus desventajas es posible señalar que lo más representativo es las grandes áreas que se requieren para llevar a cabo el procedimiento.

3.5.2 Procesos biológicos anaerobios. El tratamiento anaeróbico utiliza bacterias para ayudar a la degradación del material orgánico en un ambiente libre de oxígeno; las lagunas y tanques sépticos se encuentran dentro de los distintos métodos de tratamiento anaerobio.

El tratamiento anaeróbico más conocido es la digestión anaeróbica, que se utiliza para el tratamiento de alimentos y efluentes provenientes de la elaboración de bebidas, de las aguas residuales municipales, efluentes químicos y el tratamiento de residuos agrícolas.

3.5.3 Ozonización. La ozonización es un método que posee una alta eficiencia, representada en remociones en concentración de microorganismos superiores al 99% durante un tiempo de contacto de 120s³², aunque es necesario resaltar que su costo de implementación es elevado al llegar este hasta valores superiores a los \$50'.000.000 COP³³ teniendo en cuenta dentro de dicha implementación los costos de equipos, mantenimientos, materia prima, materiales de trabajo y personal de planta

³² EL OZONO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA. [en línea]. <<http://www.elaguapotable.com/ozonizacion.htm>> [citado el 5 de octubre de 2016]

³³ FRACO LÓPEZ, Fernando. Costos de producción. En: Determinación e implementación del sistema de costos de los productos de agua envasada amb agua viva del acueducto metropolitano de Bucaramanga. Bucaramanga, 2011, p. 54-84

3.5.4 Clarificación directa. La clarificación se refiere a la remoción de sólidos suspendidos y sedimentables, ésta cuenta con varios subprocesos como la coagulación y la floculación dónde el primero se entiende como el proceso de desestabilización de partículas mediante la adición de sustancias químicas y el segundo es un proceso que se realiza mediante la agitación moderada del agua para la aglomeración de partículas; finalmente en la clarificación se recurre a la sedimentación.

La clarificación directa suele ser un tratamiento que se utiliza en ARI de microempresas con flujos de caudales pequeños; dentro de las ventajas de este proceso se entiende que disminuye las cantidades de materia orgánica en descomposición al reducir las concentraciones de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables; además, tiene bajo costo. Por otra parte, en cuanto a las desventajas, se requiere de un mantenimiento y control continuo, se precisa de un tanque de almacenamiento, es necesario un tanque que dosifique coagulante y floculante y dicho tanque debe contar con una salida anexa para los sólidos sedimentados durante el proceso.

3.6 ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO

Como se explicó con anterioridad R.F.G. Bonny Ltda., actualmente cuenta con un sistema de tratamiento para aguas residuales industriales, exhibido en el Diagrama 4, que no da cumplimiento a la Resolución 0631 del 2015 completamente por lo cual en este proyecto de grado se desea generar una propuesta de mejoramiento que sirva para la fábrica donde el efluente obtenido al final posea las características adecuadas de acuerdo a la normativa Colombiana.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante la caracterización inicial, que evidenciaron que la principal fuente de contaminación en el agua residual de R.F.G. Bonny Ltda., procedía de la materia orgánica en descomposición, y los métodos descritos en la sección 3.5 se plantearon las siguientes alternativas con el fin de dar cumplimiento a lo establecido como permisible.

Dentro de las alternativas de tratamiento aquí planteadas no se consideran los procesos biológicos debido a que para la implementación de los mismos se requieren la disposición de áreas grandes³⁴.

³⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. 3ra ed. 2008, p. 246

3.6.1 Alternativa 1 – Tratamiento de ozonización. “La ozonización es ampliamente utilizada en el tratamiento de las aguas, tanto potables como residuales. Permite la eliminación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, reduciéndose el carbono orgánico total, el olor, el color, el sabor y la turbidez de las aguas, así como sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos”³⁵.

Al llevar a cabo un proceso de ozonización se cuenta con ciertas ventajas y desventajas, las mismas se evidencian en el cuadro 4.

Cuadro 4. Ventajas y desventajas – ozonización

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El ozono se puede producir fácilmente desde el aire o el oxígeno, mediante descargas eléctricas. ▪ El ozono reacciona fácilmente con compuestos orgánicos e inorgánicos. ▪ El ozono es uno (1) de los desinfectantes químicos más eficientes ya que su tiempo de contacto se encuentra entre 10 y 30 minutos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El costo inicial de los equipos es alto, puede llegar a superar los \$50'000.000 COP la implementación del sistema, y los generadores requieren de mucha energía. ▪ El ozono debe generarse “in situ” debido a los problemas que generaría el almacenamiento y transporte.

FUENTE: ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Desinfección con ozono. En: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Washington, D.C.

Para llevar a cabo un tratamiento de ozonización se requiere la compra de un tanque de homogenización donde llegarán las aguas que serán tratadas y se homogenizarán, además, el tanque ayudará a disminuir la concentración de sólidos ya que durante el tiempo en el cual se llega al volumen de agua que se desea tratar se empezaran a sedimentar los sólidos presentes y se podrán eliminar de la muestra; además se requiere de una maquina generadora de ozono, cuyo costo supera los \$43'000.000 COP³⁶, y otro tanque donde se llevará a cabo el proceso de ozonización, finalmente son necesarias dos (2) válvulas que permitan el ingreso del ozono para llevar a cabo el procedimiento y tres bombas, una que lleve el agua desde la trampa de grasas, una vez que el tiempo de

³⁵ MADRIDMASD.ORG. Aplicación de la ozonización en el tratamiento de aguas: descripción y funcionamiento [en línea]. <<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>> [citado el 11 de octubre de 2016]

³⁶ FRACO LÓPEZ, Fernando. Recolección de información. En: Determinación e implementación del sistema de costos de los productos de agua envasada amb agua viva del acueducto metropolitano de Bucaramanga. Bucaramanga, 2011, p. 48

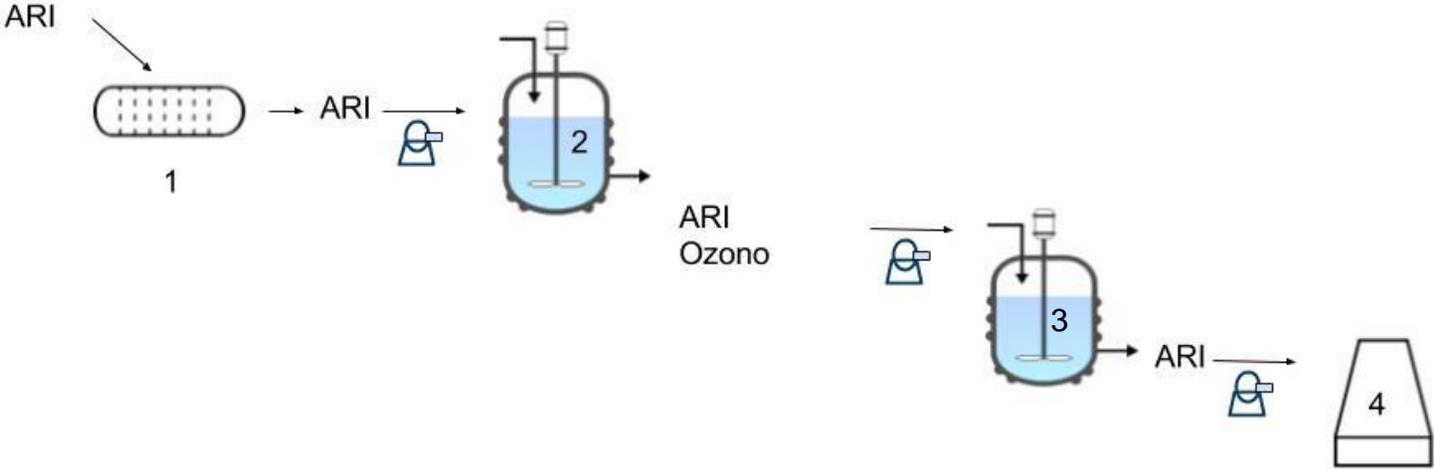
retención ha concluido, hasta el tanque de homogenización, una que traslade las aguas desde el tanque de homogenización hasta el tanque de tratamiento y una que lleve la muestra tratada hasta la caja de inspección externa. En el diagrama 9 se presenta el sistema de tratamiento planteado para la alternativa 1.

3.6.2 Alternativa 2 – Clarificación directa. Lo primero que se requiere para implementar esta alternativa es un tanque para que las aguas provenientes de la trampa de grasas, una vez se ha finalizado el tiempo de retención, pasen mediante el uso de una bomba y sean almacenadas mientras se llega a un volumen específico; la utilidad de dicho tanque es, además de almacenar las aguas que van a someterse a un tratamiento, ayudar a sedimentar algunos de los sólidos presentes en las muestras de ARI y homogenizar la temperatura y el pH de la muestra.

Una vez se ha alcanzado el volumen requerido para realizar el proceso de coagulación – floculación se pasa la muestra de ARI a un tanque de sedimentación química, mediante una bomba, donde se realiza el proceso de clarificación y al terminar se somete nuevamente la muestra a un tiempo de reposo donde los sólidos sedimentables y demás compuestos orgánicos se sedimentarán y extraerán por el fondo del tanque de sedimentación química para ser vertidos en un recipiente de residuos peligrosos. Finalmente, el agua clarificada y sedimentada pasará, mediante una tercera y última bomba, a la caja de inspección externa donde será vertida al alcantarillado.

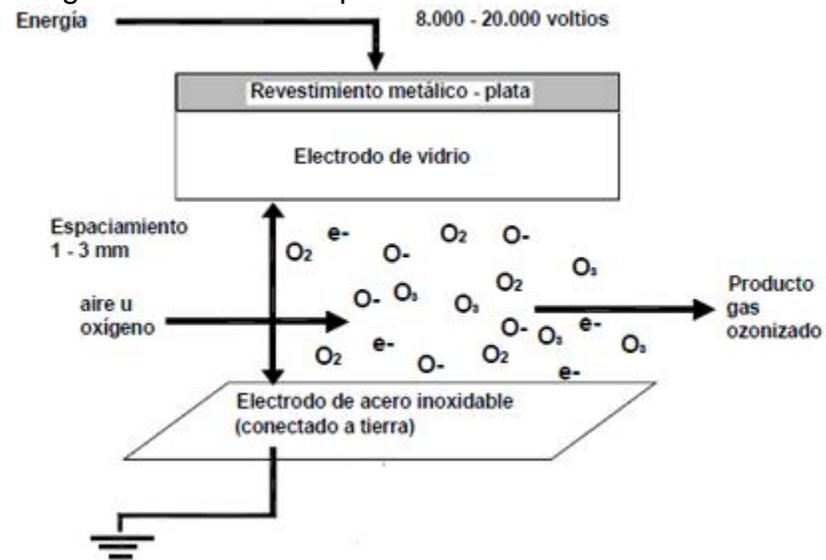
En el diagrama 11, se presenta la alternativa planteada para el tratamiento 2.

Diagrama 9. Alternativa de tratamiento 1



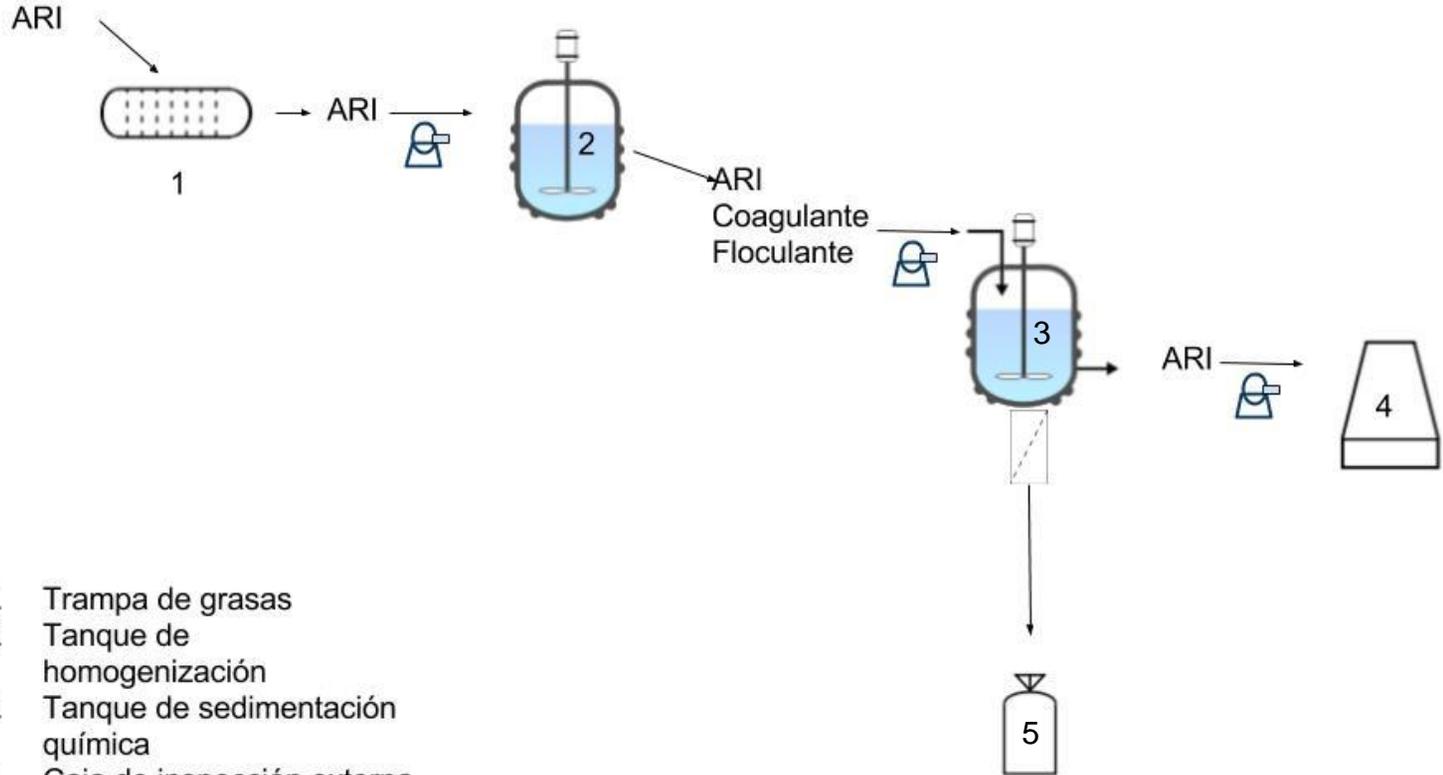
- 1. Trampa de grasas
- 2. Tanque de homogenización
- 3. Tanque de ozonización
- 4. Caja de inspección externa

Diagrama 10. Proceso producción de ozono



Fuente: Ozono inocuidad, producción de ozono.

Diagrama 11. Alternativa de tratamiento 2



- 1. Trampa de grasas
- 2. Tanque de homogenización
- 3. Tanque de sedimentación química
- 4. Caja de inspección externa
- 5. Residuos peligrosos

3.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Teniendo en cuenta las dos (2) alternativas planteadas, que fueron seleccionadas basándose en los mejores tratamientos dentro de los posibles a escoger evidenciados en el cuadro 4 , se realiza una matriz de selección cualitativa con una disposición lineal que permita elegir la mejor entre las dos (2).

Para que la matriz a ejecutar señale los resultados adecuados, acorde a lo que se quiere lograr, se deben tener ciertos criterios de selección que se mencionan a continuación:

- Precios: Este criterio es indispensable ya que se requiere de una alternativa que cuente con bajos costos en cuanto a la implementación y el mantenimiento de los equipos.
- Eficiencia: Se tiene que tener muy en cuenta la capacidad del proceso de llegar a concentraciones de los compuestos contaminantes representativos inferiores a lo establecido como permisible en la normativa ya que el resultado final dependerá de esto.
- Posibilidad: Es necesario saber que tan posible es llegar a realizar el proyecto con los recursos destinados que en este caso, según lo establecido por el propietario de R.F.G. Bonny Ltda., son de \$35'000.000 COP.
- Sostenibilidad: Es necesario encontrar una alternativa que no contribuya a contaminar el medio ambiente lo cual se logra al manejar adecuadamente los residuos generados durante el proceso.
- Mano de obra: Se requiere de una alternativa que no requiera personas externas a las que laboren en las actividades regulares de R.F.G. Bonny Ltda., ya que la misma es una pequeña que no cuenta con los recursos necesarios para contratar personas anexas que se dediquen únicamente a realizar el tratamiento.

A cada uno de los criterios señalados se le asigna un valor teniendo en cuenta las necesidades de los propietarios de la fábrica; dicho valor se evidencia en la tabla 7.

Tabla 7. Valor criterios

Criterios	Valor
Precios	5
Eficiencia	4,5
Posibilidad	4
Sostenibilidad	3,5
Mano de obra	3

Para evaluar cada alternativa se establece una calificación que va desde 3 hasta 5 y se dividen los rangos de calificación con el fin de determinar cuál es la mejor alternativa para las necesidades presentadas por la fábrica.

3.8 MATRIZ DE SELECCIÓN

Para seleccionar la alternativa se utilizará el método Kepner-Tregoe³⁷ que es una metodología estructurada para obtener, priorizar y evaluar información. Para llevar a cabo este método se realiza un análisis teórico de las alternativas; para obtener el resultado calificativo se ejecuta la jerarquización de los resultados teniendo en cuenta la Ecuación 4.

Ecuación 4. Resultado matriz de selección

$$\sum = (c * c_a)$$

Dónde:

C: Se refiere al valor de cada criterio de selección

C_a: Calificación asignada a cada alternativa

Para evaluar las alternativas se utilizaron los rangos presentados en la tabla 8; dichos rangos y sus respectivas calificaciones se otorgaron de acuerdo a los requerimientos del área gerencial de R.F.G. Bonny Ltda.

³⁷ LÓPEZ OVANDO, José Elesban. Análisis de decisiones de Kepner – Tregoe. En: Una técnica gráfica para el análisis de decisiones. Ciudad Universitaria D.F., 2006, p. 3

Tabla 8. Calificación otorgada a cada uno de los criterios

Valor	Precios (millones)	Eficiencia	Posibilidad	Sostenibilidad	Mano de obra
5	0 – 20'000.000	Remoción de los contaminantes en un tiempo inferior a dos (2) horas	Costo de equipos y reactivos de acuerdo al presupuesto de la empresa – tratamiento no complicado	No hay emisiones contaminantes al medio por parte del tratamiento	1 Persona
4,5	20'000.001 – 30'000.000	Remoción de los contaminantes en un tiempo entre 2 y 5 horas	Costo de los equipos y reactivos de acuerdo al presupuesto de la empresa – tratamiento levemente complicado	-	2 Personas
4	30'000.001 – 40'000.000	Remoción de los contaminantes en un tiempo entre 5 y 8 horas	Costo de los equipos y reactivos de acuerdo al presupuesto de la empresa – tratamiento complicado	Hay emisiones al medio por parte del tratamiento – las emisiones contaminantes no requieren de un tratamiento anexo	1 Persona – capacitación
3,5	40'000.000 – 50'000.000	Remoción de los contaminantes en un tiempo entre 8 y 11 horas	Costo de equipos y reactivos superior al presupuestado por la empresa – tratamiento no complicado	-	2 Personas – capacitación
3	>50'000.000	Remoción de los contaminantes en un tiempo superior a 11 horas	El costo de los equipos y reactivos es superior al presupuestado por la empresa – complicaciones con los reactivos necesarios para llevar a cabo el tratamiento	Se obtienen compuestos altamente peligrosos para ser emitidos al medio - requieren de un tratamiento anexo	1 Persona contratada con el único fin de llevar a cabo el tratamiento

Para el criterio de precios se realizó un análisis superficial de los equipos requeridos para cada una de las alternativas y basándose en esto se otorgó la calificación a cada una de las propuestas realizadas; para la alternativa 1 se calificó con un valor de 3,0 este criterio debido a que el valor de los equipos principales requeridos para el proceso, un tanque de ozonización, un tanque de homogenización, un compresor de ozono y tres bombas, asciende hasta un valor superior a \$54'800.000 COP³⁸; en cuanto a la alternativa 2 se llegó a una calificación de 5,0 en este criterio ya que los equipos principales requeridos, un tanque de homogenización, un tanque de clarificación y tres bombas, no alcanzan a superar los \$20'000.000 COP.

Para el criterio de eficiencia se evaluó la capacidad que tenía el tratamiento de disminuir la concentración de contaminantes en el menor tiempo posible; esto debido a que las alternativas aquí descritas son ambas para reducir las concentraciones de materia orgánica presente por lo cual su diferencia reside en el tiempo que podría tardar el proceso. Para la alternativa 1 se otorgó una calificación de 5,0 en cuanto a la eficiencia debido a que la teoría señala que el proceso de ozonización utiliza un periodo de contacto no superior a 30 minutos³⁹ mientras la alternativa 2 obtuvo una calificación de 4,0 puesto que un tratamiento de coagulación floculación debe llevarse a cabo en un tiempo de 6 horas.

La posibilidad de llevar a cabo el tratamiento se encontraba relacionada con el costo al que se podía llegar mediante la inversión inicial, esperando que el mismo no superará los \$35'000.000 COP establecidos como límite para el presupuesto mediante las directivas de la empresa, y que el tratamiento llevado a cabo no presentara altas dificultades. Para la alternativa 1 se estableció una calificación de 3,0 en este criterio debido a que las posibilidades de compra de equipos para la implementación son bajas por parte de la compañía al salirse éstos del presupuesto planeado, además, la implementación de un tratamiento de ozonización presentaría dificultades técnicas puesto que, entre otras cosas, se debe generar el ozono in situ porque este muestra problemas de almacenamiento y transporte y la generación de éste in situ incrementa el gasto de energía total en la fábrica; por su parte, a la alternativa 2 se le otorgó una calificación de 5,0 en este criterio debido a que los costos de los equipos necesarios se encuentran de acuerdo al presupuesto de las directivas, lo cual incrementa la posibilidad de llevar a cabo el tratamiento, y llevar a cabo el tratamiento de coagulación – floculación no presenta mayores dificultades puesto que depende únicamente de agregar las dosis estipuladas de coagulante y floculante.

³⁸ FRACO LÓPEZ, Fernando. Recolección de información. En: Determinación e implementación del sistema de costos de los productos de agua envasada amb. agua viva del acueducto metropolitano de Bucaramanga. Bucaramanga, 2011, p. 48

³⁹ ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Desinfección con ozono. En: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Washington, D.C., 1999, p. 4

Para el criterio de sostenibilidad se otorgó una calificación de 3,0 a las dos alternativas debido a que durante ambos tratamientos se generan lodos, en el primer caso únicamente en el tanque de homogenización y en el caso de la alternativa dos dentro del tanque de homogenización y en el tanque de clarificación, y mediante los lodos generados por ambos tratamientos se obtienen compuestos que producen afección al medio y deben ser tratados en un sistema anexo que disponga de buena manera de ellos.

Finalmente, se otorgó una calificación de 4,0 a la alternativa 1 para la mano de obra debido a que no se requiere de personal externo a la fábrica para llevar a cabo el proceso de ozonización y ya que el tratamiento se realizaría en lotes solo se necesitaría de una persona que lleve a cabo el mismo pero esta persona debería tener una capacitación especial para poder llevar a cabo dicho tratamiento; por otra parte, la alternativa 2 obtuvo una calificación de 5,0 en este criterio ya que se requiere únicamente de una persona, que se encuentre dentro de la nómina de la fábrica, que adicione las dosis requeridas de coagulante y floculante y la misma no debe tener una capacitación especial, solo debe conocer las dosis necesarias por tratamiento y los tiempos en los cuales debe adicionar cada uno de los compuestos.

A continuación, en la tabla 9, se presenta la matriz de evaluación de alternativas de Kepner – Tregoe donde se dio una calificación entre tres y cinco para cada uno de los criterios de evaluación en las alternativas 1 y 2.

Tabla 9. Matriz evaluación alternativas

Criterio	Valores				
	Calificación	Alternativa 1		Alternativa 2	
Precios	5,0	3,0	15,0	5,0	25,0
Eficiencia	4,5	5,0	22,5	4,0	18,0
Posibilidad	4,0	3,0	12,0	5,0	20,0
Sostenibilidad	3,5	3,0	10,5	3,0	10,5
Mano de obra	3,0	4,0	12,0	5,0	15,0
Sumatoria			72,0		88,5

Según los datos presentados en la tabla 9 es posible señalar que la alternativa dos es la que mejor se ajusta a los requerimientos ya que durante la matriz de selección de Kepner – Tregoe se estableció que la misma poseía una calificación mayor, esto teniendo en cuenta las calificaciones otorgadas a cada uno de los criterios durante la evaluación con el Ingeniero representante de R.F.G. Bonny Ltda.

3.9 ENSAYO DE JARRAS

Una vez escogida la alternativa de tratamiento, que en este caso es un sistema de clarificación directa, se llevó a cabo un ensayo de jarras con el fin de ratificar que cuando se lleve a cabo el proceso de coagulación – floculación las concentraciones reportadas por la DBO₅, la DQO, los sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables van a disminuir y se encontraran de acuerdo a lo establecido como permisible en la normativa.

Mediante la consulta realizada a un Ingeniero de NALCO Colombia, empresa dedicada al tratamiento de aguas residuales, se pudieron encontrar los floculantes y el coagulante presentados en el cuadro 5 que son los utilizados con regularidad para ajustar las características físicas y químicas de las aguas provenientes de las actividades industriales llevadas a cabo en fábricas de pinturas.

Cuadro 5. Coagulantes y Floculantes ideales para tratamiento aguas pinturas.

Nombre	Tipo	Referencia
Policloruro de aluminio	Coagulante	C - 8157
Aniónico (alta concentración)	Floculante	F - 9900
Catiónico (baja concentración)	Floculante	F - 9701
Aniónico (baja concentración)	Floculante	F - 9901

La prueba de jarras es un método común que se utiliza con el fin de determinar las condiciones óptimas para el tratamiento de aguas residuales industriales; este ensayo simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que pueda estar presente y pueda llevar a las muestras a tener problemas de turbidez, olor y sabor. Para llevar a cabo éste procedimiento se requiere de un equipo como el evidenciado en la imagen 2.

Imagen 2. Equipo para el ensayo de jarras



Fuente: R-Chemical

Dentro del ensayo de jarras se cuenta con parámetros de interés que son de tipo físico, químico y organoléptico; dichos parámetros son la temperatura, el pH, la turbidez, el tiempo de mezcla, el color, el tamaño de los floculos y las velocidades de sedimentación. La información que se obtiene al realizar este ensayo tiene como fin ayudar a mejorar el tratamiento actual y establecer las condiciones de operación con las que se manejarán las aguas residuales industriales en R.F.G Bonny Ltda.

Para llevar a cabo la prueba con el agua residual industrial objeto de estudio en este trabajo de grado, se ejecutó el procedimiento en un equipo similar al de la imagen 2 que contaba con cuatro beakers de 800 mL cada uno y un agitador mecánico cuya velocidad era ajustable en rpm.

El procedimiento a seguir para realizar la prueba fue el siguiente:

1. Se llenaron los beakers anteriormente mencionados hasta un volumen de 500 mL. Se agitaron a 100 rpm durante un minuto y se pausó el equipo.
2. Se reinició el equipo y se adicionó el coagulante, se agitó durante diez segundos a 30rpm; esto con el fin de dispersar el coagulante a través de los contenedores. Al terminar los diez segundos se volvió a pausar el equipo.
3. Se añadió el floculante a una concentración de 2,2 mg/L, la selección de dicha concentración se explica más adelante, se reinició el equipo y se agitó durante cinco minutos a 30rpm.
4. Se apagaron los mezcladores y se dejó reposar el producto durante 40 minutos.

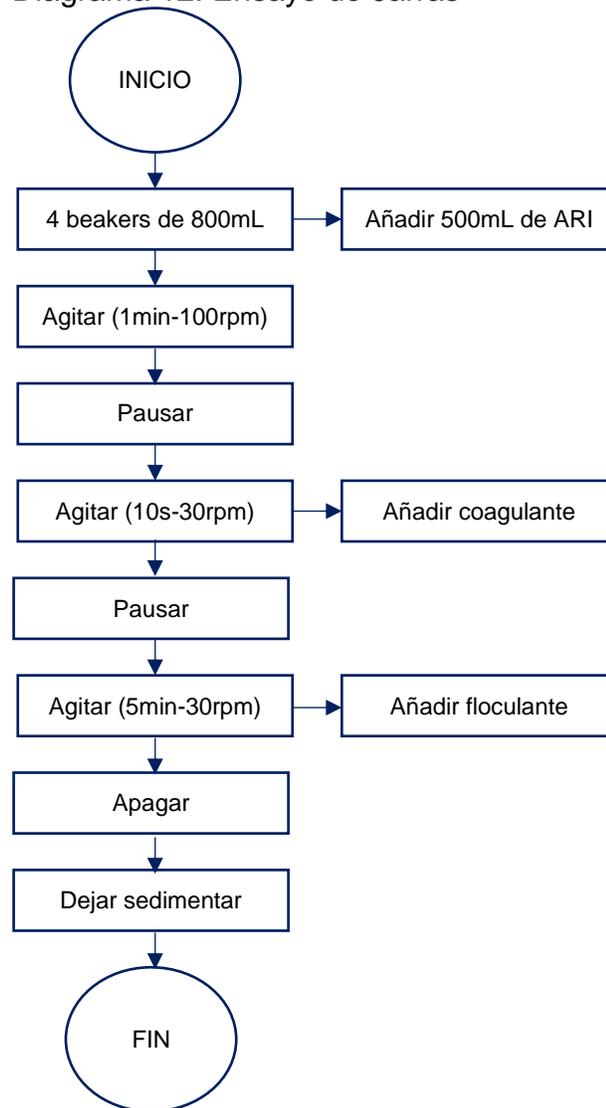
Las velocidades en rpm del equipo para la reacción del coagulante y floculante, así como los tiempos de acción y sedimentación, fueron establecidas mediante la bibliografía⁴⁰.

A continuación, en el diagrama 12, se presenta el procedimiento descrito.

⁴⁰ PRUEBA DE JARRAS. [en línea].

<ptasmosquera.orgfree.com/imagenes/documentos/PRUEBA%20DE%20JARRAS.docx> [citado el 5 de octubre de 2016]

Diagrama 12. Ensayo de Jarras



Para iniciar la prueba se empezó con la preparación de los polímeros orgánicos que actúan como floculantes, dicha preparación se realiza con 0,5g⁴¹ de los polímeros mencionados en el cuadro 7 con una muestra de 500mL de agua limpia llegando así a una concentración de 1000 mg/L para cada uno de los floculantes, la cantidad disuelta de cada uno de los floculantes para la disolución de éstos se escogió por medio de la bibliografía; para homogenizar la mezcla de los polímeros orgánicos con el agua se utiliza el equipo para el ensayo de jarras durante treinta minutos con una velocidad de 100rpm en cada uno de los tres beakers.

Después de que los treinta minutos habían concluido se disminuyó la velocidad del equipo a 30rpm durante cinco minutos y pasados los cinco minutos se pausó el equipo dejando reposar las muestras.

Una vez estaba lista la preparación de los polímeros orgánicos se tomó el pH de la muestra original de ARI, el cual señaló una concentración de 8,1 unidades, y evidenció un valor favorable para llevar a cabo la prueba de jarras⁴² ya que ésta prueba suele desarrollarse de una mejor manera en condiciones básicas lo cual señala concentraciones superiores a 7,01 unidades para el parámetro. Ya con los floculantes preparados, y el pH calculado, se empezó el ensayo de jarras recolectando 500mL de la muestra de ARI y homogenizando la mezcla durante un minuto a 100rpm.

Pasado el minuto se agregaron diferentes dosis de coagulante desde 50 mg/L hasta 200 mg/L, cada una en muestras de 500 mL de agua contaminada, y se encontró la dosis recomendada de 80 mg/L. Durante las pruebas para encontrar la concentración más efectiva de coagulante se utilizaron concentraciones de 5 mg/L de floculante F – 9900 en todos los casos, siendo la selección del floculante F – 9900 aleatoria.

Una vez encontrada la dosis ideal de coagulante, se empezó a realizar el ensayo para formular la dosis ideal de floculante y cuál de las tres opciones a elegir era mejor. Para encontrar el mejor floculante se probaron los tres mencionados en el cuadro 5 con concentraciones de 80 mg/L de coagulante mientras los floculantes estaban en dosis que iban desde 2 mg/L hasta 5 mg/L, cada uno en muestras de 500 mL de agua contaminada, y una vez se encontró el floculante cuya remoción de turbidez era mejor se probó dicho floculante en concentraciones desde 2 mg/L

⁴¹ MARÍN OCAMPO, Laura. Preparación del floculante. En: Determinación de las condiciones apropiadas de preparación de un floculante como componente fundamental en el proceso de clarificación de jugo en Riopaila Castilla S.A. Pereira, 2012, p. 68

⁴² CAÑAS ROJAS, Christian. Corrección del pH. En: Estudio de aplicabilidad e implementación del policloruro de aluminio como coagulante primario en la planta la flora del AMB. S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2005, p. 13

hasta 3 mg/L encontrándose así el óptimo de 2,4 mg/L por cada 500 mL de agua contaminada.

La turbidez del agua se determinó mediante la extracción de una muestra de 5mL de la parte superior del beaker, donde se encontraba el agua clarificada y el sedimento ya se encontraba al fondo; para la determinación de pH se tomó el agua de la superficie sin tener en cuenta el sedimento. Terminadas las pruebas se tomó el agua donde se habían utilizado las concentraciones ideales de coagulante y floculante y se realizó el posterior análisis de los compuestos que habían sobrepasado la norma durante la caracterización inicial.

En las siguientes tablas se evidencian las concentraciones de turbidez y pH calculadas durante el procedimiento realizado mientras se experimentaba con las concentraciones del coagulante.

Tabla 10. Turbidez y pH – adición coagulante – prueba uno (1).

C – 8157		
Dosis (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH (unidades)
50	59,9	7,8
100	48,8	7,67
150	68,5	7,59
200	75,2	7,56

En la tabla 10, dónde se menciona una adición de coagulante durante la prueba uno (1), se exhiben los valores reportados por la turbidez y el pH con concentraciones de coagulante que van desde 50 mg/L hasta 200 mg/L en cantidades que varían por volúmenes de 2,5mL; dicha prueba se realizó con el fin de establecer un rango más específico para poder conocer la concentración de coagulante ideal. Debido a que el valor de turbidez más bajo se situó en la prueba realizada con 100 mg/L de coagulante la prueba dos se realizó con concentraciones del compuesto desde 20 mg/L hasta 100 mg/L.

En la tabla 11, referida a la prueba dos, se exhiben las concentraciones de turbidez reportadas por el agua residual industrial una vez el ensayo de jarras fue realizado con concentraciones desde 20 mg/L hasta 80 mg/L, lo reportado para 100 mg/L se había obtenido en la prueba uno (1); lo exhibido en dicha tabla evidencia un comportamiento descendente en cuanto a la concentración del parámetro desde 20 mg/L hasta 80 mg/L, donde llega a su límite mínimo, ya que a los 100 mg/L la concentración de turbiedad empieza a aumentar por lo cual es posible concluir una dosis ideal de coagulante de 80 mg/L de muestra contaminada.

Tabla 11. Turbidez y pH – adición coagulante – prueba 2.

C – 8157		
Dosis (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH (unidades)
20	69,7	7,76
40	63,3	7,75
60	54,6	7,65
80	40,3	7,64
100	48,8	7,64

En las dos (2) pruebas realizadas para conocer la concentración ideal de coagulante se utilizó una concentración base de 5 mg/L de floculante F - 9900. A continuación, en las tablas 12, 13 y 14, se evidencian los resultados obtenidos con los diferentes floculantes a concentraciones que oscilan desde 2 mg/L hasta 5 mg/L y una concentración de 80 mg/L de coagulante.

Tabla 12. Turbidez y pH – adición floculante inicial – F – 9900

F – 9900		
Dosis (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH (unidades)
2	62,3	7,86
3	54,9	7,85
4	47,8	7,74
5	40,1	7,8

La tabla 12 exhibe un comportamiento inversamente proporcional por parte de la concentración de floculante respecto a lo reportado por la turbidez lo cual señala que en caso de que el floculante elegido a utilizar sea el F – 9900 sus costos serán superiores debido a que se deben utilizar cantidades más altas del producto.

Tabla 13. Turbidez y pH – adición floculante inicial – F – 9701

F – 9701		
Dosis (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH (unidades)
2	33,4	7,88
3	32,1	7,91
4	36,5	7,73
5	38,7	7,84

Por otra parte, la tabla 13 evidencia concentraciones de turbidez que llegan a un mínimo una vez la concentración de floculante está en 3 mg/L por lo cual es posible señalar que la concentración óptima de éste compuesto se sitúa entre 2 mg/L y 3 mg/L; ya que una vez que la concentración de floculante aumenta hasta 3 mg/L empieza a elevarse la turbiedad.

Tabla 14. Turbidez y pH – adición floculante inicial – F – 9901

F – 9901		
Dosis (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH (unidades)
2	27,8	7,87
3	26,3	7,85
4	30,2	7,9
5	33,4	7,88

En último lugar la tabla 14 exhibe las concentraciones más bajas de turbiedad una vez es llevado a cabo el ensayo y, al igual que en el caso del floculante F – 9701, muestra un mínimo en NTU cuando la concentración del compuesto es de 3 mg/L por lo cual el ensayo final se realiza con una concentración de 80 mg/L de coagulante y concentraciones de floculante entre 2 mg/L y 3 mg/L.

A continuación, en la tabla 15, se presentan las concentraciones obtenidas para turbidez y pH con el floculante F – 9901 en dosis que van desde 2 mg/L hasta 3 mg/L con lo cual fue posible encontrar la dosis ideal de 2,4 mg/L.

Tabla 15. Turbidez y pH – adición floculante final – aniónico baja concentración

F – 9901		
Dosis (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH (unidades)
2	27,8	7,87
2,2	27,1	7,86
2,3	26,7	7,84
2,4	25,7	7,83
2,5	26	7,9
2,6	26,3	7,88

Según los datos establecidos en las tablas anteriormente exhibidas es posible decir que la dosis de coagulante ideal es de 80 mg/L mientras la dosis ideal de floculante es de 2,4 mg/L. Los valores alcanzados para la turbidez y el pH en este caso fueron de 25,7 NTU y 7,83 unidades respectivamente.

3.10 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A la muestra clarificada mediante el ensayo de jarras se le realizó el análisis de los compuestos contaminantes que durante la caracterización inicial se mantuvieron por encima de lo establecido como permisible en la normativa. A continuación, en la tabla 16, se presentan los resultados obtenidos.

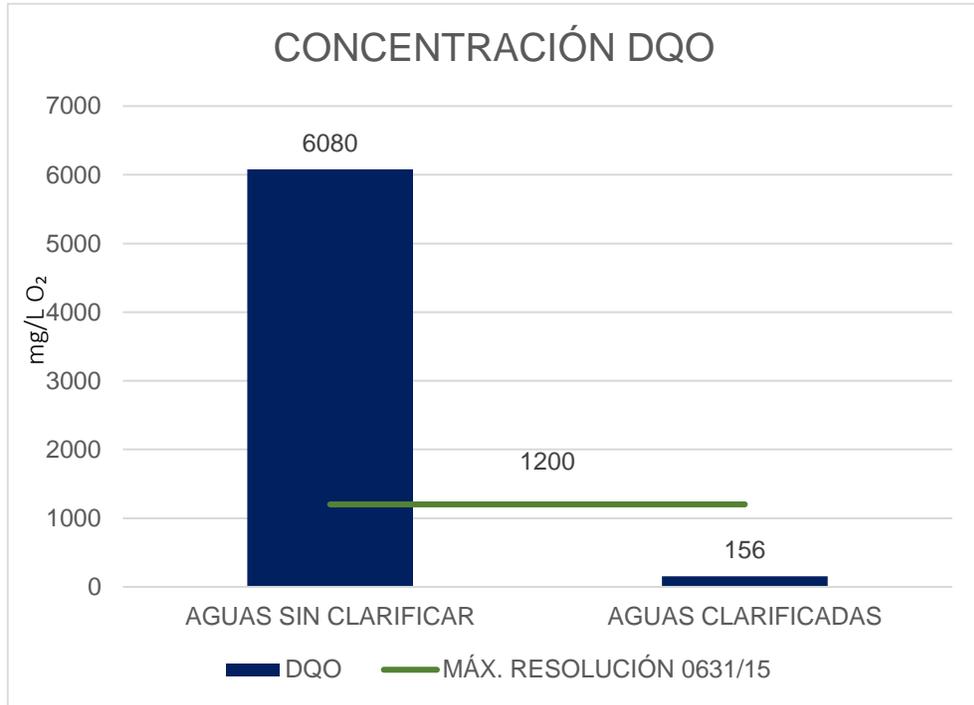
Tabla 16. Resultados aguas clarificadas

Parámetro	Unidades	Resultados iniciales	Resultados finales	Porcentaje de remoción en concentración	Máximo normativa
DQO	mg/L O ₂	6.080	156	97,4%	1200
DBO ₅	mg/L O ₂	1.430	87	93,9%	600
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.470	97	96,1%	300
Sólidos Sedimentables	mL/L	3	<0,10	99,9%	3

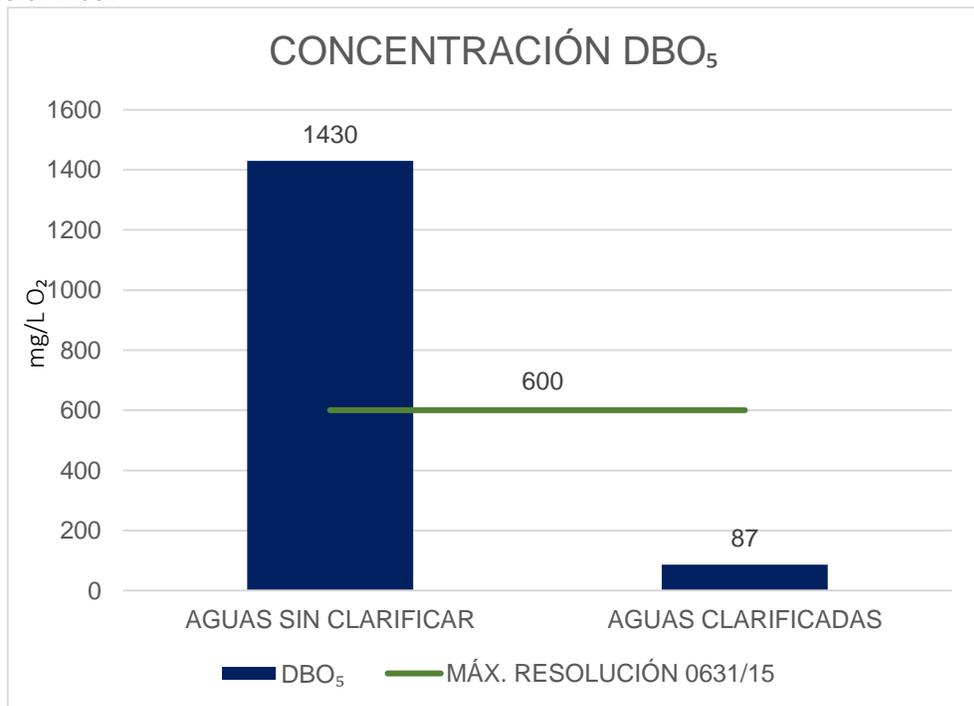
Como se evidencia en la tabla, los porcentajes de remoción en concentración son superiores al 90% en cada uno de los casos lo cual demuestra que la alternativa planteada es adecuada para el tratamiento de las aguas residuales industriales en R.F.G. Bonny Ltda.

A continuación, en las gráficas desde la 4 a la 7, se presenta la disminución generada en la concentración de los contaminantes y lo establecido como permisible por la normativa.

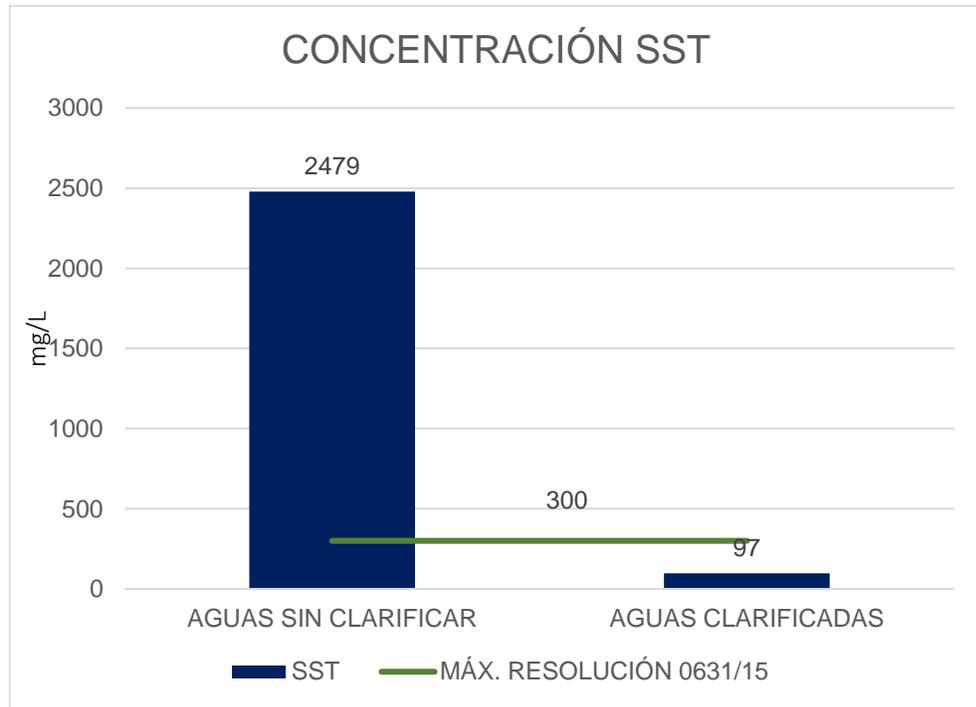
Gráfica 4. Comparativa DQO con la normativa – antes y después de clarificar



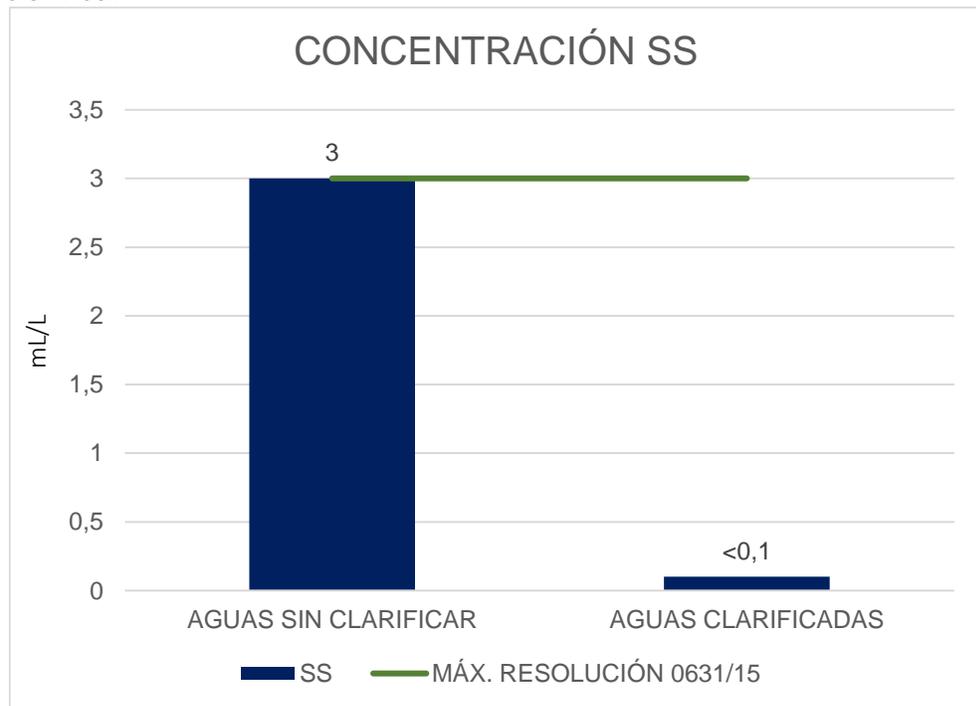
Gráfica 5. Comparativa DBO₅ con la normativa – antes y después de clarificar



Gráfica 6. Comparativa SST con la normativa – antes y después de clarificar



Gráfica 7. Comparativa SSED con la normativa – antes y después de clarificar



Mediante lo exhibido en las gráficas es posible afirmar que el tratamiento además de contar con un alto porcentaje de remoción en concentración actúa de tal manera que las aguas, al finalizar el proceso de coagulación/floculación/sedimentación, dan cumplimiento absoluto a lo establecido como permisible por la normativa.

4. ESPECIFICACIONES

Para la alternativa de tratamiento planteada en este proyecto se realizó el análisis de las especificaciones técnicas de los equipos necesarios, que en este caso se refieren a los tanques de homogenización y sedimentación química, y las concentraciones de coagulante y floculante requeridas.

El análisis de las especificaciones técnicas se realiza con el fin de garantizar el resultado eficiente de la alternativa seleccionada además de ayudar a los propietarios de la fábrica a no incurrir en costos excesivos al adquirir equipos que no alcancen a contener las cantidades adecuadas de fluido o que posean volúmenes superiores a los requeridos.

4.1 DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS

Dentro del proceso de tratamiento a las aguas residuales industriales de R.F.G. Bonny Ltda., se estableció un prototipo continuo tipo batch, definiéndose este como un proceso donde se opera sobre una cantidad específica de material, con el fin de realizar el tratamiento dos (2) veces a la semana para así disminuir los gastos que se generarán en energía y mano de obra.

Para el sistema de tratamiento propuesto se deben dimensionar dos (2) equipos: el tanque de homogenización y el tanque de clarificación.

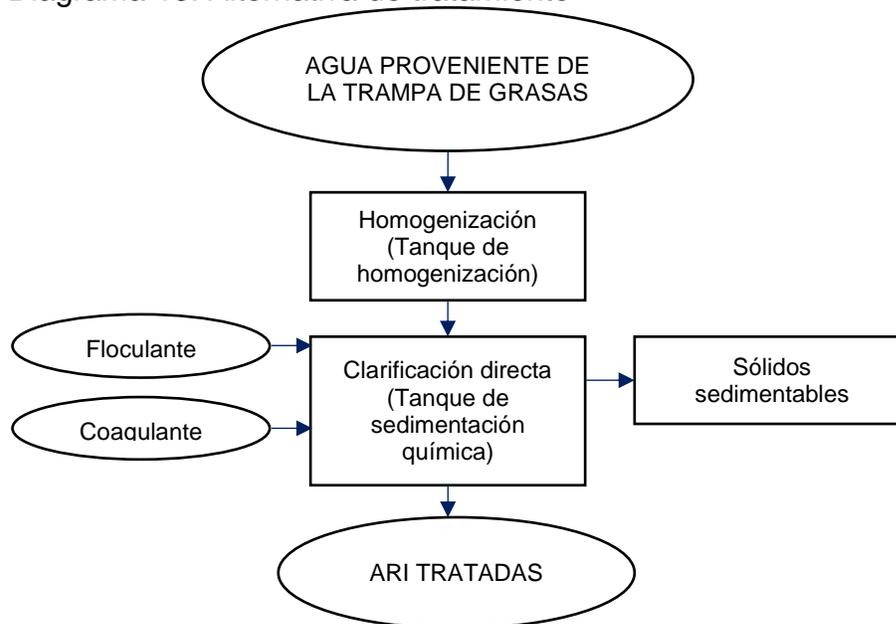
- Tanque de homogenización: a este tanque llegarán las aguas desde la trampa de grasa, que es el paso final en el tratamiento actual. La función de este tanque consiste en la recepción de agua, hasta que la misma alcance el límite de agua a tratar y así pase al tanque de sedimentación química para tratamiento, y la conservación de la temperatura, el pH y los sólidos suspendidos de manera homogénea.
- Tanque de sedimentación química: a este tanque llegarán las aguas que se encuentran en el tanque de homogenización, una vez éste se ha llenado se adicionará la concentración de coagulante y floculante calculada y se mezclará con una sistema de agitación con el fin de llevar a cabo la clarificación. El diseño del tanque debe ser cónico con el fin de acumular los sólidos suspendidos, para el tratamiento planteado se requiere de un tanque sedimentador con agitador.

En el diagrama 11, presentado durante el capítulo 3 en la sección 3.6, se presenta el sistema de tratamiento propuesto para la alternativa dos (2).

Como se mencionaba durante el capítulo 2, en la sección 2,3, el tratamiento que R.F.G. Bonny Ltda., realiza a las aguas residuales industriales que generan cuenta con un proceso de sedimentación y filtración de los sólidos sedimentables y posteriormente en la trampa de grasas se separan los aceites y las grasas que puedan estar presentes en el agua.

La alternativa planteada quiere aprovechar las estructuras existentes dentro del sistema de tratamiento tipo batch dónde el tanque de homogenización recibirá el efluente mientras alcanzan la capacidad máxima de almacenamiento. A continuación, en el diagrama 13, se presenta el procedimiento descrito.

Diagrama 13. Alternativa de tratamiento



4.1.1 Tanque de homogenización. El objetivo de este tanque es almacenar el agua proveniente de la trampa de grasas hasta tener el volumen a tratar.

Teniendo en cuenta el balance hídrico realizado en el capítulo dos (2) se puede decir que, en promedio, el gasto mensual de agua en R.F.G. Bonny Ltda., es de 17.900L y las cantidades de agua residual alcanzan los 14.280L por lo cual es posible señalar que semanalmente se obtienen 3570L de ARI.

Basando el cálculo de dimensiones en lo establecido en la bibliografía por Jairo Alberto Romero Rojas en su libro titulado “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño”, para calcular el volumen final se debe tener en cuenta un porcentaje del 15% superior con el fin de garantizar la seguridad y así no contar con derrames innecesarios en épocas donde la producción pueda aumentar o por otros motivos las cargas de aguas residuales sean superiores a las establecidas en el promedio.

Para la propuesta aquí emitida se plantea llevar a cabo el tratamiento dos (2) veces a la semana lo cual permitiría manejar un volumen de ARI equivalente a 1785L; pero teniendo en cuenta lo dicho con anterioridad el volumen final sería de 2053L obteniendo ésta cantidad mediante la ecuación 5 como se evidencia en el cálculo 1.

Ecuación 5. Vol. Final tanque homogenización.

$$Vol. final = Vol. actual * 1,15 \quad (5)$$

Cálculo 1. Vol. Final tanque homogenización.

$$2052,75L = 1785L * 1,15$$

Teniendo en cuenta que actualmente no se encuentran en el mercado tanques de 2053L se hace una estimación del volumen de seguridad que se tendría al comprar un tanque comercial, que llega hasta 2000L, lo cual generaría un porcentaje de seguridad del 12% como se evidencia en el cálculo 2; dicho porcentaje de seguridad se encuentra utilizando la ecuación 5.

Cálculo 2. Porcentaje de seguridad final tanque homogenización.

$\frac{2000L}{1785L} = 1,12$

Para calcular las dimensiones del tanque de homogenización se toma en cuenta la ecuación 6, que describe la manera de hallar el volumen de un cilindro, y se despeja hasta conocer el radio del mismo.

Ecuación 6. Vol. cilindro

$$r = \sqrt[2]{\frac{Vol. final}{(\pi * h)}} \quad (6)$$

Con el fin de determinar el radio del tanque se tomará una altura de 1,41m, que es la altura usual de los tanques comerciales de 2000L (Ver Anexo C). A continuación, en el cálculo 3, se presenta el valor obtenido para el diámetro.

(5) (6)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Cálculo 3. Longitud del diámetro

$$0,67m = \sqrt[2]{\frac{2,00 m^3}{(\pi * 1,41m)}}$$

Mediante el cálculo 3 obtenemos un radio de 0,67m lo que conduce a un diámetro de 1,34m.

4.1.2 Tanque de sedimentación química. El objetivo de este tanque es recibir las aguas provenientes del tanque de homogenización para su tratamiento lo cual se hará adicionando las cantidades precisas de coagulante y floculante requeridas para el mismo. Para esta parte del tratamiento se requiere un tanque de fibra de vidrio cónico con agitador que, además, cuente con el espacio requerido para realizar la dosificación.

Para poder llevar a cabo el diseño del tanque de sedimentación química se debió realizar un ensayo de velocidad de sedimentación (Ver Anexo D) donde en una probeta de un litro se añadió 1L de agua residual industrial y 160mg/L de policloruro de aluminio, se agitó durante un minuto y se adicionaron 4,8mg/L de floculante aniónico de baja concentración, se agitó la muestra durante cinco minutos y se empezó a registrar la altura del sedimento durante una hora. (Principalmente cada minuto durante los diez primeros minutos y después cada cinco minutos hasta llegar a los sesenta minutos)

Tabla 17. Ensayo de sedimentación.

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura duplicado (cm)
0	40	40
1	37	36
2	33	32
3	26	26
4	23	24
5	18	18
6	17	16
7	15	15
8	14	14
9	13	13

Tabla 17. (Continuación)

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura duplicado (cm)
10	12	12
15	10	11
20	10	10
25	9	9
30	9	9
35	8	8
40	8	8
45	7	7
50	7	7
55	7	7
60	7	7

Según los datos presentados en la tabla 17 es posible decir que la altura inicial del sedimento, H_0 , es de 40cm mientras la altura final es de 7cm. El tiempo requerido para alcanzar la altura deseada, t_u , es de 15 minutos ya que según lo evidenciado en la tabla desde este momento el cambio en la altura del lodo no varió significativamente durante los siguientes 45 minutos. Por su parte el t_1 , referido al momento en el cual la altura del lodo empezó a cambiar de manera menos significativa, se refiere a 5 minutos mientras el H_1 , referido a la altura que se llegó durante este tiempo inicial es de 18cm.

Para calcular el área superficial requerida para el espesamiento del lodo, en m^2 , se requiere del caudal afluente al tanque, la altura inicial de la interfaz en la columna y el t_u como se presenta en la ecuación 7.

Ecuación 7. Área superficial requerida para espesamiento del lodo

$$A_s = \frac{Qt_u}{H_0} \quad (7)$$

Para conocer el área superficial requerida para el espesamiento del lodo, $0,375m^2$, se utilizó un caudal de 10L/min que es el caudal con el cual trabaja la bomba que se implementará en el sistema (Ver Anexo D) además del t_u y el H_0 encontrados durante el ensayo de velocidad de sedimentación.

(7)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Cálculo 4. Área superficial requerida para espesamiento del lodo

$$0,375m^2 = \frac{0,01m^3/min * 15 min}{0,40m}$$

Teniendo en cuenta que durante la caracterización inicial del agua residual industrial se obtuvo una concentración inicial de sólidos suspendidos de 2479 mg/L y una concentración deseada de sólidos totales en el lodo espesado de 23400 mg/L, calculados mediante el procedimiento descrito en el diagrama 7 con los lodos obtenidos durante el ensayo de sedimentación, se halla la profundidad para la concentración deseada de sólidos totales mediante la fórmula descrita en la ecuación 8 como se presenta en el cálculo 5.

Ecuación 8. Profundidad para la concentración deseada de sólidos totales

$$H_u = \frac{C_o H_o}{C_u} \quad (8)$$

Cálculo 5. Profundidad para la concentración deseada de sólidos

$$0,042m = \frac{2479mg/L * 0,40m}{23400mg/L}$$

Al haber calculado la profundidad requerida para la concentración deseada de sólidos totales se puede hallar la tasa de clarificación del sedimentador químico con la fórmula presentada en la ecuación 9, como se presenta en el cálculo 6, dicha tasa de clarificación sirve para determinar el área requerida para que la clarificación sea efectiva.

Ecuación 9. Tasa de clarificación para el sedimentador químico

$$Q_o = \frac{Q * (H_o - H_u)}{H_o} \quad (9)$$

(8) (9)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Cálculo 6. Tasa de clarificación para el sedimentador químico

$$0,00895m^3/min = \frac{0,01m^3/min * (0,40m - 0,042m)}{0,40m}$$

Para calcular el área requerida para que sea efectiva la clarificación, ecuación 10, se debe primero hallar la velocidad de asentamiento en el sedimentador químico con la fórmula presentada en la ecuación 11.

Ecuación 10. Área requerida para la clarificación

$$A_o = \frac{Q_o}{V_s} \quad (10)$$

Ecuación 11. Velocidad de asentamiento para el sedimentador químico

$$V_s = \frac{H_o - H_1}{t_1} \quad (11)$$

Dónde H_0 , H_1 y t_1 se obtuvieron durante el ensayo de sedimentación realizado, dichos valores se presentan en el cálculo 7.

Cálculo 7. Velocidad de asentamiento para el sedimentador químico

$$0,044m/min = \frac{(0,40m - 0,18m)}{5min}$$

Al conocer la velocidad de asentamiento y la tasa de clarificación se calculó el área requerida para la clarificación con la ecuación 10 como se presenta en el cálculo 8.

Cálculo 8. Área requerida para la clarificación

$$0,203m^2 = \frac{0,00895m^3/min}{0,044m/min}$$

(10) (11)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Teniendo en cuenta las dos (2) áreas calculadas, para el espesamiento del lodo y para la clarificación, se determina el área mayor entre éstas y esa corresponde al área de control del diseño que en este caso es $0,375m^2$. Teniendo en cuenta la concentración inicial de sólidos y el caudal se halla el flujo de sólidos presente en el sedimentador químico mediante la ecuación 12.

Ecuación 12. Flujo de sólidos presente en el sedimentador

$$F_s = C_o * Q \quad (12)$$

Mediante el cálculo 9 es posible decir que el flujo de sólidos presente en el sedimentador es de $24790mg/min$ y teniendo en cuenta dicho flujo de sólidos, el área requerida para el espesamiento de lodos (que en este caso corresponde al área de control de diseño) y la ecuación 13 se determina la carga de sólidos como se presenta en el cálculo 10.

Cálculo 9. Flujo de sólidos presente en el sedimentador

$$\frac{24790mg}{min} = \frac{2479mg}{L} * \frac{10L}{min}$$

Ecuación 13. Carga de sólidos

$$C_s = \frac{F_s}{A} \quad (13)$$

Cálculo 10. Carga de sólidos

$$\frac{66106,67mg}{min * m^2} = \frac{24790mg/min}{0,375m^2}$$

Por último se calcula la carga hidráulica del sedimentador químico, con la ecuación 14, teniendo en cuenta el caudal de $0,01m^3/min$ y el área de $0,375m^2$ como se presenta en el cálculo 11.

Ecuación 14. Carga hidráulica

$$CH = \frac{Q}{A} \quad (14)$$

Cálculo 11. Carga hidráulica

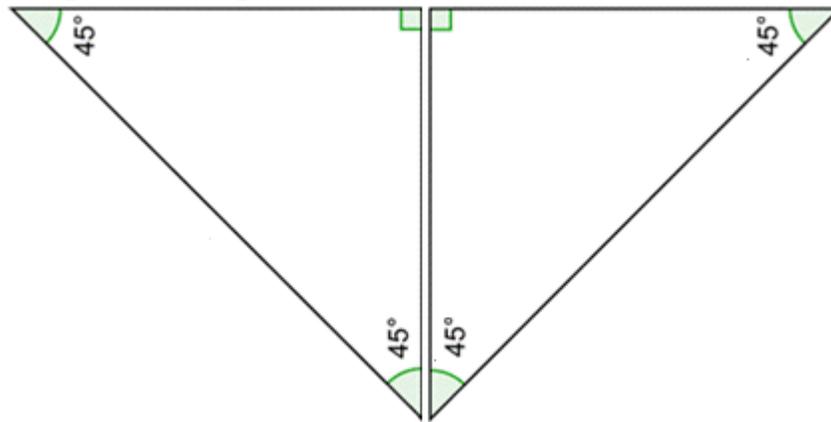
$$0,02m/min = \frac{0,01m^3/min}{0,375m^2}$$

(12) (13) (14)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Para calcular el volumen del tanque de sedimentación química, que está compuesto por una parte superior cilíndrica y una inferior cónica, se tiene en cuenta que el volumen de la sección cónica debe ser mayor o igual al volumen de los lodos; además para la parte cónica se utilizará un ángulo de 45°, de acuerdo a lo dicho por Jairo Romero en su libro titulado Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño, con el fin de que los lodos se sedimenten adecuadamente, basándose en esto la altura de la sección cónica del tanque de sedimentación química se calcula teniendo en cuenta la imagen 3.

Imagen 3. Triángulo de 45°



Para conocer el radio de la sección cónica, y en consecuencia la altura de dicha sección, se debe tener en cuenta que en un triángulo de 45° la longitud de un cateto es igual a la longitud del cateto restante por lo cual se calcula el radio de la sección cónica del tanque de sedimentación química con la ecuación 15 como se presenta en el cálculo 12.

Ecuación 15. Radio sección cónica tanque sedimentador

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (15)$$

Cálculo 12. Radio sección cónica tanque sedimentador

$$0,69 = \sqrt{\frac{4 * 0,375}{\pi}}$$

(15)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Al conocer el radio de la sección cónica del tanque sedimentador se puede conocer el volumen que contendrá esta parte con la ecuación 16 como se presenta en el cálculo 13.

Ecuación 16. Volumen sección cónica tanque sedimentador

$$V_{cono} = \frac{\pi r^3}{3} \quad (16)$$

Cálculo 13. Volumen sección cónica tanque sedimentador

$$0,345m^3 = \frac{\pi * 0,69^3}{3}$$

Conociendo el volumen del cono se obtiene el volumen del cilindro superior, $1,655m^3$, al hacer la resta entre el volumen del tanque de homogenización, con el volumen de seguridad, y el volumen del cono como se demuestra en la ecuación 17 y el cálculo 14.

Ecuación 17. Volumen cilindro tanque sedimentador.

$$V_{cilindro} = V_{Tanque} - V_{Cono} \quad (17)$$

Cálculo 14. Volumen cilindro tanque sedimentador.

$$1655L = 2000L - 345L$$

Conociendo el volumen del cilindro superior y el radio se calcula la altura del mismo, $1,78m$, teniendo en cuenta la ecuación 6 como se muestra en el cálculo 15.

Cálculo 15. Altura cilindro tanque sedimentador.

$$\frac{1,655m^3}{\pi * (0,69m)^2} = 1,11m$$

Para calcular la altura total del tanque sedimentador químico, $1,8 m$, se suman las alturas del cono y del cilindro como se evidencia en la ecuación 18 y el cálculo 16.

(16) (17)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

Ecuación 18. Altura tanque sedimentador.

$$h_{Total} = h_{cono} + h_{cilindro} \quad (18)$$

Cálculo 16. Altura tanque sedimentador.

$$1,8m = 0,69m + 1,11m$$

4.1.3 Tratamiento de lodos⁵⁰. Para el tratamiento de los lodos que se generaran durante la implementación de un sistema de clarificación directa se utilizará un sistema de deshidratación dónde el equipo a emplear será un filtro de presión de correa. .

Los filtros de presión de correa son equipos que emplean una correa doble para desaguar continuamente lodos mediante una combinación de drenaje por gravedad y de compresión. El proceso incluye dos (2) etapas operacionales: desaguado por gravedad hasta una consistencia no fluida y compactación del lodo en una zona de corte y presión.

Para llevar a cabo el sistema de deshidratación los lodos floculados durante el proceso deben ingresar en la zona de drenaje por gravedad, dicha zona posee una correa porosa continua a través de la cual ocurre el drenaje por gravedad. El filtrado de la zona por gravedad se recoge y envía al sistema de drenaje al tiempo que el lodo espesado abandona la zona por gravedad e ingresa en la zona de compresión para desagüe adicional mediante prensado entre las dos (2) correas porosas.

Para determinar los requerimientos necesarios para el filtro prensa de correa se requiere primero conocer la cantidad de lodos y de sólidos que se obtendrán por tratamiento, los mismos se calculan teniendo en cuenta el ensayo de velocidad de sedimentación realizado como se presenta en los cálculos 17 y 18.

Cálculo 17. Cantidad de lodos por tratamiento.

$$312375mL = \frac{40\text{ cm}}{1000\text{ mL}} * 7\text{ cm} = \frac{175mL}{1000mL} * 1785000mL$$

⁵⁰ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. 3ra ed. 2008, p. 824-828

(18)

F. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. 3ra ed. Colombia, 2004.

De acuerdo al cálculo proporcional, durante el ensayo de velocidad de sedimentación se obtuvieron 175mL de lodos y con dicho volumen es posible decir que la cantidad de sólidos por tratamiento es de 312,4 L; anexo a esto se pudo determinar que la cantidad de sólidos por tratamiento es de 41,8Kg.

Cálculo 18. Cantidad de sólidos por tratamiento.

$$41769000mg = \frac{23400mg}{L} * 1785L = 41,77Kg$$

Se calcula el periodo de operación por tratamiento suponiendo una capacidad de manejo de lodos del filtro de correa de 3L/s por metro de correa como se presenta en el cálculo 19.

Cálculo 19. Periodo de operación

$$\beta = \frac{312,4L}{3L/s * 3600s/h} = 2,9h$$

Por lo tanto el filtro prensa de correa tendría un tiempo operacional de 3h por tratamiento con 1m de correa.

4.1.4 Dosis coagulante y floculante. Cuando R.F.G. Bonny Ltda., quiera implementar el tratamiento de aguas residuales formulado en este proyecto deberá conocer las concentraciones de coagulante y floculante requeridas para el proceso por lo cual es necesario dejar establecidas las dosis que se necesitan. Durante el ensayo de jarras realizado se encontraron concentraciones base que, a continuación, se utilizaran para conocer las cantidades necesarias en cantidades superiores de aguas contaminadas.

Se toma como base para el tratamiento los 1785L que se obtuvieron al conocer el balance hídrico de la empresa, y teniendo en cuenta que se realizará el tratamiento dos (2) veces por semana, y no el volumen total del tanque de 2000L ya que el 12% del tanque corresponde a un volumen de seguridad.

Durante la prueba de jarras se determinó que para 500 mL de agua residual industrial se requerían 80mg/L de coagulante; con dicha concentración, y conociendo el volumen de agua dentro del tanque de sedimentación química, se realiza el cálculo proporcional que permite establecer una concentración de 285600 mg/L por tratamiento como se evidencia en el cálculo 20.

Cálculo 20. Volumen de coagulante necesario para tratamiento

$$285600mg/L = \frac{80mg/L}{500mL} * 1785000L$$

Debido a que durante el ensayo de jarras se llevó a cabo una disolución de 0,5g de floculante en 500mL de agua limpia, y con dicha disolución se conoció la dosis necesaria de floculante el cálculo a realizar para conocer la concentración ideal de floculante para el tratamiento cambia ligeramente a la ejecutada para conocer la cantidad de coagulante necesaria.

Primero, se debe tener en cuenta que la dosis necesaria de la disolución de floculante es de 1,3mL por cada 500mL de agua contaminada lo cual señalaría un volumen de 4641mL para tratar 1785L de ARI como se evidencia en el cálculo 22.

Cálculo 21. Concentración disolución de floculante.

$$4641mL = \frac{1,3 mL}{500 mL} * 1785000 mL = 4,7L$$

Finalmente, teniendo en cuenta que se necesita de una concentración de 2,4 mg/L para tratar 500mL de ARI se realizó el cálculo proporcional para conocer la concentración de floculante necesaria por tratamiento.

Cálculo 22. Concentración disolución de floculante.

$$8568mg/L = \frac{2,4 mg/L}{500 mL} * 1785000 mL$$

4.1.5 Tubería. La tubería de R.F.G. Bonny Ltda., es de 4" pulgadas y se encuentra manufacturada en PVC, teniendo en cuenta que el tratamiento aquí planteado no es continuo sino que se realiza por lotes, dos (2) veces a la semana, se diseñó un diagrama de tuberías general que presenta la tubería necesaria para llevar a cabo el tratamiento en la fábrica; el mismo se presenta en el diagrama 14.

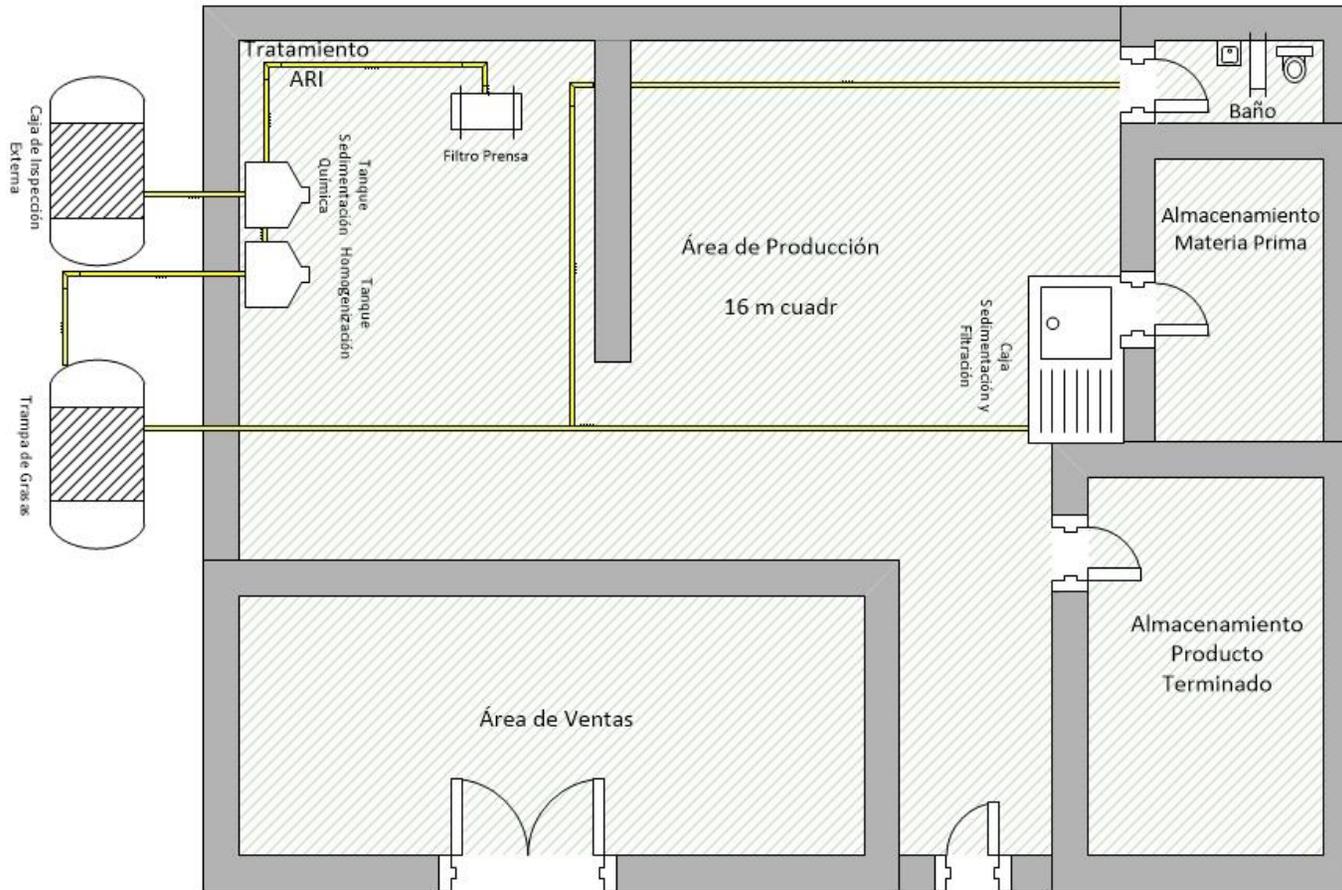
De acuerdo con el diagrama, y con las dimensiones de R.F.G. Bonny Ltda., se necesitan tubos PVC con diámetro de 4' y una longitud de m que se dividirán de acuerdo a lo especificado en la tabla 18 además de un codo que conecte la tubería entre la trampa de grasas y el tanque de homogenización.

Tabla 18. Ensayo de sedimentación

Tubería conexión	Longitud
Trampa de grasas – codo	80cm
Codo – Tanque de homogenización	80cm
Tanque de homogenización – Tanque de sedimentación química	80cm
Tanque de sedimentación química – caja de inspección externa	50cm
Tanque de sedimentación química – filtro prensa	50cm

Diagrama 14. Diagrama tuberías R.F.G. Bonny Ltda.

DIAGRAMA DE TUBERÍAS



4.1.6 Consumo eléctrico. Para el tratamiento planteado dentro de este proyecto de grado, que consta de una clarificación directa, se consume energía en tres bombas y en el tanque de sedimentación química ya que éste cuenta con un motor que realiza la mezcla del coagulante y floculante con el agua residual que se va a tratar. A continuación, en la tabla 19, se presenta el consumo de energía generado por cada equipo.

Tabla 19. Ensayo de sedimentación

Equipo	Consumo energético (kw/h)
Tanque homogenización	14,91
Tanque sedimentación química	14,91
Bomba 1	0,75
Bomba 2	0,75
Bomba 3	0,75
Bomba 4	0,75

Teniendo en cuenta que se requiere de 6h por tratamiento el consumo energético total sería de 196,92KW.

5. COSTOS

R.F.G. Bonny Ltda., es una fábrica de pinturas emergente por lo cual actualmente no cuentan con el dinero suficiente para realizar procesos, como para el tratamiento de aguas residuales industriales, que tengan precios altos por lo cual en este capítulo se detallan los costos a los cuales podría llegar a incurrirse con la implementación del tratamiento.

Como se describió en los capítulos anteriores, la alternativa para el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales se compone por el uso de diferentes equipos cuyos costos se conocerán con el fin de conocer la inversión inicial a la que incurriría la empresa.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN E INSTALACIÓN

La inversión inicial de un proyecto es esencial en todos los campos existentes, con una medida apreciativa de los costos que se pueden tener los encargados del desembolso pueden pedir los préstamos necesarios a bancos y demás por lo cual los datos aquí expuestos son de alto interés.

5.1.1 Bomba. Para el tratamiento de aguas residuales industriales en R.F.G. Bonny Ltda., son necesarias cuatro bombas, como se evidencia en el diagrama 15; en este caso se utilizarán bombas autocebantes que tienen en su carcasa un depósito donde circula parte del líquido bombeado y al detenerse y reiniciarse la bomba ésta utiliza el líquido para comenzar a funcionar y crear el vacío que permita la succión.

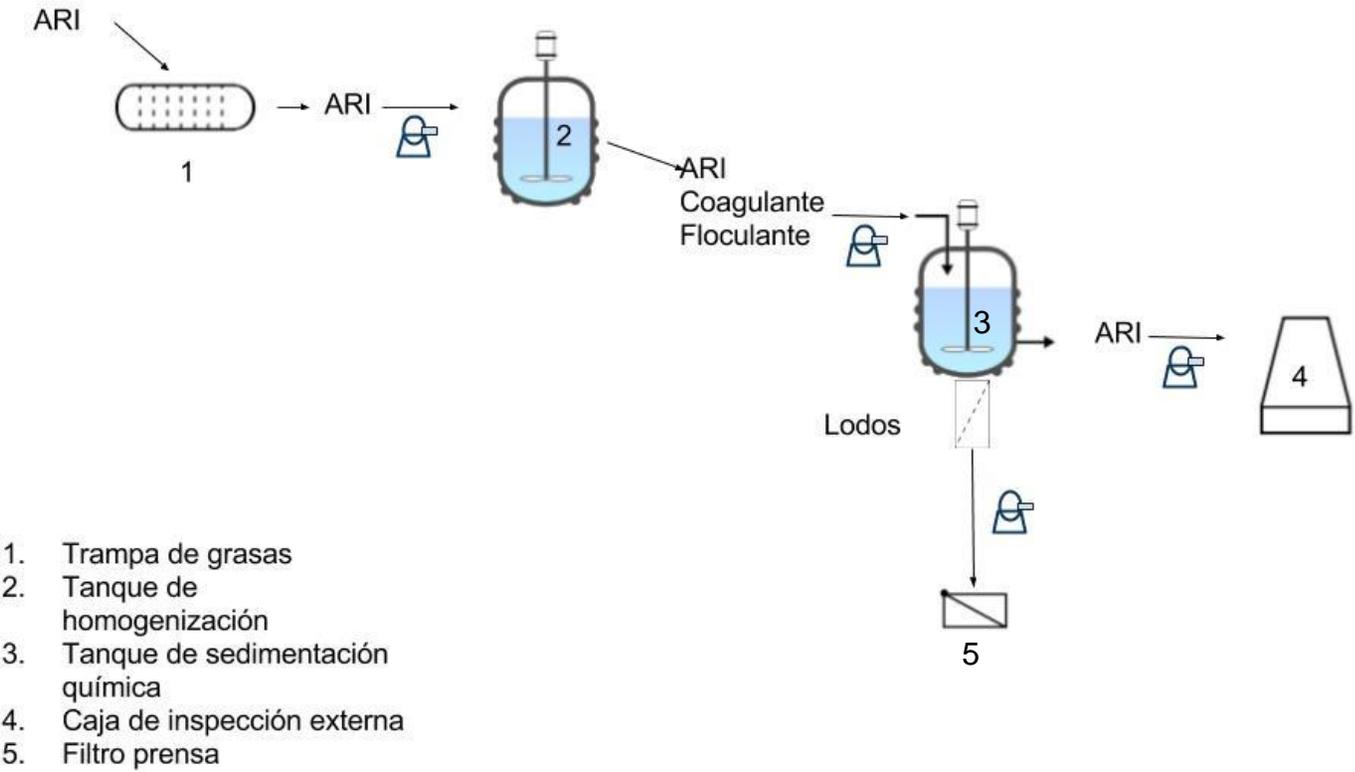
Para el proyecto descrito en este trabajo de grado se emplearían bombas de Pedrollo con potencia de 1 HP, un voltaje de 110-220 voltios y que manejan un caudal de 10L/min. A continuación, en la tabla 20, se presenta el precio por unidad y total en el que incurriría la empresa.

Tabla 20. Bombas

EQUIPO	MARCA	COSTO
Bomba	Pedrollo	\$1.317.000
Total		\$5.268.000

Fuente: Pedrollo

Diagrama 15. Equipos necesarios para la implementación del tratamiento



5.1.2 Tanque de homogenización. En el capítulo 4, durante el dimensionamiento de equipos, se encontró un volumen ideal para el tanque de homogenización de 2053L pero debido a que un tanque con dicha capacidad no se encuentra en el mercado se estableció un volumen de seguridad del 12% y un volumen final para el tanque de 2000L. Conociendo las dimensiones requeridas y la capacidad del tanque mediante el contacto telefónico se realizó la cotización del equipo y el precio del mismo es de \$531.300 COP; este tanque sería de Ajoever y entre sus características está la resistencia a la exposición solar y al impacto.

5.1.3 Tanque de sedimentación química. El tanque de sedimentación química necesario para la implementación de este proyecto tiene un costo de \$6'500.000 COP; el precio es elevado debido a las características del tanque ya que este cuenta con agitador y está formado en fibra de vidrio.

5.1.4 Filtro de presión con correa. El filtro de presión necesario para tratar los lodos provenientes del tratamiento de agua residual industrial tiene un costo de \$13'000.000 COP.

5.1.5 Coagulante y floculante. Dentro del proceso de clarificación directa, la alternativa escogida para el tratamiento de aguas en R.F.G. Bonny Ltda., es necesario el uso de un coagulante y floculante con el fin de llevar a cabo la clarificación; los precios de dichos compuestos se evidencia en la tabla 21.

Tabla 21. Coagulante y floculante

COMPUESTO	MARCA	COSTO
Policloruro de Aluminio – C – 8157	Nalco	\$ 4.000
Floculante Aniónico – F – 9901	Nalco	\$ 33.000
Total		\$ 37.000

Fuente: Nalco

Mediante el balance hídrico realizado en el capítulo 2 se determinó que la cantidad de agua residual industrial generada en R.F.G. Bonny Ltda., mensualmente es de 14280L, en promedio, y teniendo en cuenta que se realizarán dos (2) tratamientos semanalmente el volumen de agua a tratar será de 1785L. Teniendo en cuenta las concentraciones de coagulante y floculante necesarias para tratar dicha cantidad de agua, exhibidas en el capítulo 4 sección 4.1.3., es posible decir que al año se necesitarían de 1372,8L de coagulante, 480g de floculante y 480L de agua destilada para realizar la disolución de floculante que se añadirá en el tratamiento.

A continuación, en la tabla 22, se exhiben los costos generados mediante la compra de coagulante y floculante a lo largo de un año para llevar a cabo el tratamiento planteado.

Tabla 22. Coagulante, floculante y agua destilada costo anual

COMPUESTO	COSTO	CANTIDAD/AÑO	COSTO ANUAL
Coagulante (L)	\$4.000	1373	\$5.492.000
Floculante (Kg)	\$33.000	1	\$33.000
Agua destilada (L)	\$2700	480	\$1.296.000
Total			\$6.821.000

Fuente: Nalco

5.1.6 Costos de operación. Dentro de los costos de operación se estima el monto anual de energía en el que incurren las cuatro bombas, descritas con anterioridad, el tanque de homogenización y el tanque de sedimentación química. Teniendo en cuenta que el tratamiento a realizar es de doce horas por semana, seis por cada tratamiento, se tendría un total de 576 horas al año. El costo de operación se evidencia en la tabla 23.

Tabla 23. Costos de operación

Equipo	Cantidad	Consumo (KW/h)	Horas de operación	Costo (KW/h)	Costo anual
Bomba	4	0,75	576	350	\$ 604.800
Tanque homogenización	1	14,91	576	350	\$ 3.005.856
Tanque sedimentación química	1	14,91	576	350	\$ 3.005.856
Total					\$ 6.616.512

5.1.7 Costos de instalación. Para la instalación R.F.G. Bonny Ltda., cuenta con un espacio en blanco donde se podrían ubicar los tanques por lo cual no se incurriría en costos de espacio y se necesitarían únicamente los elementos presentados en la tabla 24.

Tabla 24. Costos de instalación

Elemento	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Soporte	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Escalera	2	\$ 450.000	\$ 900.000
Tubería PVC	4m	\$ 20.000	\$ 80.000
Codo	1	\$ 7.000	\$ 7.000
Soldadura	1	\$ 6.500	\$ 6.500
Total			\$ 1'173.500

Se requiere de 4m de tubería PVC, de alta resistencia, un codo que conecte la tubería desde la trampa de grasas hasta el tanque de homogenización y una soldadura plástica para unir las tuberías; finalmente se requiere de dos (2) personas que se encarguen de instalar la tubería requerida, a ambos se les pagaría una suma correspondiente a dos (2) salarios mínimos en total. (SMLV 2017: \$734.558)

5.2 PROYECCIÓN DE COSTOS

Según las cifras expuestas con anterioridad, el costo total para la inversión inicial sería de \$34'762.916 COP, sin contar dentro de dicha inversión inicial los costos de operación ya que los mismos se verán reflejados a lo largo del año y no tienen que ver con un desembolso al iniciar el proyecto. Para estimar los costos en los que se incurriría al implementar el sistema de tratamiento aquí planteado en el año 2017, teniendo en cuenta que la propuesta aquí emitida no se implementará este año, se utiliza la ecuación 19.

Ecuación 19. Costo a futuro

$$\text{Costo a futuro} = \text{Costo actual} * \left(\frac{\text{valor futuro indice}}{\text{valor actual indice}} \right)$$

En el caso de la implementación se utiliza el IPP, índice de precio al productor, teniendo en cuenta que se quiere calcular un valor de inversión; para poder conocer el IPP de enero del 2017 se tuvieron en cuenta los valores de IPP emitidos por el banco de la república desde enero del 2016 hasta agosto del 2016, exhibidos en la tabla 25, y mediante una extrapolación se conoció el valor requerido.

Tabla 25. Índices precios al productor

MES	IPP - 2014	IPP - 2015	IPP - 2016	IPP - 2017
Enero	95,18	98,72	105,32	109,73
Febrero	96,57	96,77	105,74	110,13
Marzo	98,16	100,44	106,19	110,54
Abril	98,04	99,08	105,76	110,94
Mayo	97,86	99,05	107,12	111,34
Junio	97,4	101,07	108,1	111,75
Julio	97,08	102,33	108,38	112,15
Agosto	97,82	104,39	107,15	112,56
Septiembre	98,45	104,38	108,11	112,96
Octubre	98,71	103,37	108,51	113,37
Noviembre	98,06	103,89	108,92	113,77
Diciembre	100	105,48	109,33	114,18

Fuente: DANE

Teniendo en cuenta el costo actual de la implementación, se puede tener una idea de que implementarlo en el año siguiente tendría un costo, por inversión inicial, de \$ 34'910.000 COP aproximadamente, como se evidencia a continuación en el cálculo 23.

Cálculo 23. Costo inversión 2017.

$$34'909.077,64 = 34'762.916 * \left(\frac{109,73}{108,51}\right)$$

Para conocer los costos de producción en los que se incurriría mediante el tratamiento aquí planteado se utilizó la ecuación 19 y el IPC, índice de precio al consumidor, teniendo en cuenta que para este caso se incurre en la compra de materia prima y energía. El valor tomado para el costo inicial es de \$12'983.912 COP siendo dicho valor correspondiente a la suma de los costos para el coagulante, el floculante, el agua destilada y la energía gastada durante el año.

Teniendo en cuenta que el IPC, al igual que el IPP, varía mes a mes en la tabla 26 se presentaran los valores reportados para el índice únicamente durante el mes de enero de los años referenciados aunque para la extrapolación se tomaron en cuenta los valores reportados desde enero del 2014 hasta agosto del 2016, cuyo índice de precio al consumidor fue de 119,20, y éste último es el que se utiliza para realizar los cálculos referentes a la proyección de costos de producción. (Para ver los índices de precio al consumidor de todos los meses desde el 2014 hasta el 2022 ver el ANEXO B)

Tabla 26. Índices precios al consumidor

MES - AÑO	IPC
ene-14	104,28
ene-15	106,66
ene-16	114,54
ago-16	119,20
ene-17	120,69
ene-18	126,87
ene-19	133,05
ene-20	139,23
ene-21	145,41
ene-22	151,59

Fuente: DANE

A continuación, en la tabla 27, se presentan los costos futuros generados por la implementación del sistema desde el 2017 hasta el 2022 teniendo en cuenta los IPC registrados en la tabla 26.

Tabla 27. Costos futuros de operación

Año	Costo
2016	\$13.437.512
2017	\$13.605.481
2018	\$14.302.157
2019	\$14.998.834
2020	\$15.695.510
2021	\$16.392.186
2022	\$17.088.863

Es necesario resaltar que los costos de operación exhibidos en la tabla 27 no se deben cancelar una vez inicia el año sino que pueden ser pagados a lo largo de éste ya que las cantidades necesarias de coagulante y floculante se pueden comprar mes a mes, bimestralmente, trimestralmente, semestralmente o como mejor lo decidan las directivas de R.F.G. Bonny Ltda., dependiendo de los recursos de los que dispongan.

6. CONCLUSIONES

- Mediante la caracterización inicial realizada a R.F.G. Bonny Ltda., se pudo determinar que las aguas residuales industriales provenientes de la fábrica se ven afectadas, principalmente, por las concentraciones presentes de compuestos orgánicos.
- Fue seleccionado el método de clarificación directa como alternativa para llevar a cabo el tratamiento del ARI procedente de la fábrica de acuerdo a la matriz Kepner – Tregoe después de evaluar el sistema de ozonización y el de sedimentación química.
- Se realizó un análisis mediante el test de jarras para evaluar la dosificación requerida con el fin de llevar a cabo la remoción de la materia orgánica presente.
- Se analizó la concentración de DBO_5 , DQO, SST y SSED en la muestra de agua procedente del test de jarras y en todos los casos se obtuvieron porcentajes de remoción en concentración superiores al 90%.
- Fueron determinadas las especificaciones técnicas de proceso teniendo en cuenta el balance hídrico y utilizando el dimensionamiento de equipos explicado por Jairo Alberto Rojas Romero.
- Se realizó una evaluación de costo para el tratamiento de clarificación directa donde se encontró que la implementación del sistema tiene un costo cercano a los \$35'000.000 COP.

7. RECOMENDACIONES

- Para un próximo trabajo de grado se recomienda realizar la separación de redes, que se establece en el Decreto 3930 del 2010, y evaluar el vertimiento industrial.
- Debido a que durante la operación de coagulación – floculación y posterior sedimentación se generarán lodos es necesario que dichos lodos sean dispuestos de acuerdo a las condiciones técnicas y legales.
- Se recomienda realizar una caracterización a los lodos para evaluar su peligrosidad.
- Se debe realizar una caracterización del agua residual industrial emitida por R.F.G. Bonny Ltda. una vez al año con el fin de asegurarse que el sistema de tratamiento cumple con los límites permisibles.
- Se podría llegar a evaluar si las aguas residuales, una vez atraviesan el tratamiento de clarificación directa, pueden ser reutilizadas en la fábrica teniendo en cuenta el Decreto 1207 del 2014.

BIBLIOGRAFÍA

ALIFEDE F. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Comisión nacional del medio ambiente, 1988, Chile.

AUSTIN T. GEORGE, manual de procesos químicos en la industria. Tomo II. Mac Graw Hill, 1988, México.

AYANEGUI, J. Salvador. Manual de aguas para usos industriales. Tomo II. Editorial Reverte. México, 1973.

BEDOYA, Daniela. Determinación de las dosis óptimas de coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, 2012.

CAÑAS ROJAS, Christian. Estudio de aplicabilidad e implementación del policloruro de aluminio como coagulante primario en la planta la flora del AMB. S.A. E.S.P. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia, 2005.

COLLAZO, Javier. Diccionario enciclopédico de términos técnicos. Mc Graw – Hill. Vol. 3, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial – Industria Elaboradora de Pinturas. Santiago, 1998, p. 12

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con ozono. Washington, D.C., 1999.

FRANCO LOPEZ, Fernando. Tecnologías convencionales de tratamientos de aguas y sus límites: Determinación e implementación del sistema de costos de los productos de agua envasada amb. agua viva del acueducto metropolitano de Bucaramanga. Universidad de Santander. Colombia, 2011.

GERARD, Kiely. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. VII. Universidad de las palmas, Gran Canaria. 1999.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá: El Instituto, 2008, p.1-41.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Documentación. Subdirección de hidrología – Grupo laboratorio de calidad ambiental.

INTERNET:<http://www.mailxmail.com/curso-agua-tratamientos-1-2/procesos-quimicos-precipitacion-coagulacion-floculacion>

LEAL ASCENCIO, María. Tecnologías convencionales de tratamientos de aguas y sus límites. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua. México, 2006.

LÓPEZ OVANDO, José Esleban. Una técnica gráfica para el análisis de decisiones. Ciudad universitaria D.F., 2006.

MARIN OCAMPO, Laura. Determinación de las condiciones apropiadas de preparación de un floculante como componente fundamental en el proceso de clarificación de jugo en Riopaila Castilla S.A., Planta Riopaila. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, 2012.

METCALF Y EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento de vertido y reutilización. Madrid: Mc Graw Hill, 2001.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 del 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistema de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”

PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico, Volumen 2, Mac Graw Hill, 1973.

RAMOS URIBE. Planta piloto para tratamiento de aguas residuales industriales de Acesco por medio de humedales construidos – Láminas filtrantes. Universidad del Norte. Colombia, 2009.

RIGOLA MIGUEL. Tratamiento de aguas industriales. Aguas de proceso y residuales. Alfa omega. Barcelona, 1999.

RODIER JEAN. Análisis del agua. Ediciones Omega. Novena edición. Barcelona, 2009.

ROMERO ROJAS. Jairo, Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño, Tercera ed. Bogotá – Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

R.S., Ramalho. Pretratamientos y tratamientos primarios. Quebec, 2011.

TOPANTA VERA, María Isabel. Calidad del agua: Grasas y aceites. Bogotá D.C., 2009.

ANEXOS

ANEXO A METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

pH

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0080	Fecha de elaboración: 28/09/2007	Versión: 03	Página 1 de 7
	pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA			

TÍTULO: **pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA**

CÓDIGO: TP0080

VERSIÓN: 03

COPIA N°: _____

ELABORADO POR: _____
JOSE GUSTAVO AFANADOR B.
TECNOLOGO

REVISADO Y
ACTUALIZADO POR: _____
MARIA STELLA GAITAN
ING. DE ALIMENTOS

APROBADO POR: _____
MARTA ELENA DUQUE S.
COORDINADORA GLCA

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada **dos** años.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0080	Fecha de elaboración: 28/09/2007	Versión: 03	Página 1 de 7
pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA				

Las mediciones de pH varían con la temperatura en dos formas: por efectos mecánicos causados por cambios en las propiedades de los electrodos y por efectos químicos producidos por alteración de las constantes de equilibrio. En el primer caso, se incrementa la pendiente de la ecuación de Nernst con el aumento de temperatura y los electrodos requieren de un mayor tiempo para lograr el equilibrio térmico. Este efecto provoca cambios significativos en el pH. Debido a que los equilibrios químicos afectan el pH, los estándares para preparar las soluciones tampón tienen pH específico a la temperatura indicada. Reportar siempre la temperatura a la cual se mide el pH. La mayoría de los instrumentos de medida del pH están equipados con compensadores de temperatura que corrigen los errores del primer tipo, pero la medición sólo puede mostrar el pH a la temperatura de la medida.

5. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL MÉTODO

	Estándar pH 3.56	Estándar pH 6.86	Estándar pH 9.18	M1	M2
Promedio	3.6	6.9	9.0	4.4	7.9
LC de 95%	0.03	0.06	0.06	0.06	0.08
CV, %	1.4	1.4	1.2	2.5	1.9
Error relativo, %	0.84	-2.96	-0.01		

**Los datos de pH analizados por el método electrométrico se pueden reportar con un grado de incertidumbre ± 0.06 unidades de pH.*

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras deben ser analizadas inmediatamente, preferiblemente en el campo después de obtener la muestra.

Las aguas de alta pureza y las aguas que no están en equilibrio con la atmósfera, están sujetas a cambios cuando se exponen a la atmósfera, por lo cual los frascos de muestra deben llenarse completamente y mantenerse sellados hasta el análisis.

7. APARATOS REACTIVOS Y MATERIALES

7.1 Aparatos

- Potenciómetro Orion 520

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0080	Fecha de elaboración: 28/09/2007	Versión: 03
pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA			

7.2 Reactivos

Solicite los reactivos diligenciando el formato FE0041.

- Ampollas o titrisol de pH 7,00 y 4,00 trazables
- Soluciones de pH 7,00 y 4,00 trazables

7.3 Materiales

- Balones aforados clase A de 1000 mL.
- Vasos. vasos de vidrio de 100 mL
- *Agitador.* Usar un agitador magnético con barra agitadora recubierta de TFE.

8. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE VIDRIERÍA

Lave toda la vidriería con jabón neutro, enjuague con agua de la llave y posteriormente enjuague exhaustivamente con agua desionizada. Revise el Procedimiento TP0125. Lavado material de vidrio.

9. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES

- Para preparar las soluciones siga las instrucciones de la ampolla, transfiriendo cuantitativamente el contenido a un balón aforado de 1000 mL o de 500 mL, que contiene 200 mL de agua Ultrapura, completar a volumen.
- Los estándares de control son los mismos que se utilizan en la calibración y su lectura se reporta en el formato TF0020

10. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

10.1 Calibración Instrumental

- Seguir las instrucciones que se encuentran en el instructivo situado en la pared frente al equipo.
- Registrar en el formato TF0020 la temperatura de medición y el valor del pH de la solución tampón.
- El propósito de la estandarización es ajustar la respuesta del electrodo de vidrio al instrumento. El equipo debe ser calibrado semanalmente, si se desconecta de la red de energía o hay fallas de fluido eléctrico el valor de la pendiente cambia por lo tanto debe calibrarse nuevamente el equipo.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0080	Fecha de elaboración: 28/09/2007	Versión: 03
	Página 1 de 7		
pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA			

10.2 Tratamiento de la muestra

Establecer el equilibrio entre los electrodos y la muestra agitándola para garantizar la homogeneización; agitar lentamente para minimizar la incorporación de dióxido de carbono.

Para muestras tamponadas o con alta fuerza iónica, acondicionar los electrodos dejándolos dentro de la muestra por un minuto. Sacar una porción fresca de la misma muestra y leer el pH. Con soluciones diluidas o débilmente tamponadas, equilibrar los electrodos sumergiéndolos en tres o cuatro porciones sucesivas de muestra. Tomar una muestra fresca para medir el pH.

11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CÁLCULO DE RESULTADOS

Para instrumentos con compensación automática de temperatura y lectura directa en unidades de pH, la lectura se corrige automáticamente para 25°C. Reportar la lectura obtenida en el equipo, reportar en unidades de pH, con dos cifras significativas.

12. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Antes de realizar una medición siempre confirme en el pH metro, que la pendiente del equipo esté entre 92 y 102%. Adicionalmente, verificar que coincida con el dato registrado en el formato TF0020 de la calibración inmediatamente anterior.

Analizan muestras ciegas, o muestras certificadas internacionalmente que permiten evaluar la reproducibilidad, precisión y exactitud interlaboratorios.

Registre el valor de la pendiente en la carta de control para la determinación del pH. Consigne las iniciales del analista y la fecha de análisis en las celdas correspondientes y grafique el valor de la concentración real del analito.

Cuando la pendiente no cumple con los límites aceptados, revise todo el procedimiento para determinar que ocurre. No realice más análisis hasta verificar que sucede, comuníquelo la anomalía al oficial de calidad y revise, inicie nuevamente la marcha analítica cuando el oficial de calidad lo ordene.

Mantenga el electrodo con solución de KCl máximo 1 cm. por debajo del orificio que se encuentra, en la parte superior del mismo, no permita la formación de cristales de KCl dentro del electrodo, cuando no esté en uso cubra el orificio con

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0080	Fecha de elaboración: 28/09/2007	Versión: 03
pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA			

la banda de caucho, desplácelo cuidadosamente, humedeciendo la banda (recuerde que el cuerpo del electrodo es de vidrio).

13. BIBLIOGRAFIA

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation*. 21ed., United Estates of America, 2005.
- Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.
- RODIER, J. *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Omega, Barcelona, 1981.
- SAWYER, C.; McCARTY, P. *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw Hill, New York, 1996
- GARAY, J.; PANIZZO, L.; LESMES, L.; RAMIREZ, G.; SANCHEZ, J. *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-Químicos y Contaminantes Marinos*. 3ª ed. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0086	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 05
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA			

TÍTULO: **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA**

CÓDIGO: **TP0086**

VERSIÓN: **05**

COPIA N°:

ELABORADO POR:

CARLOS HERNÁN RODRIGUEZ M.
TÉCNICO QUÍMICO

REVISADO Y
ACTUALIZADO POR:

GUSTAVO ALFONSO COY
QUÍMICO

APROBADO POR:

MARTA ELENA DUQUE S.
COORDINADORA GLCA

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada **dos** años.

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0086	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 05
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA			

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

Colecte las muestras en botellas de plástico o de vidrio.

La muestra se preserva en campo por adición de H₂SO₄ conc. (2 mL de H₂SO₄ conc./L de muestra) y se mantiene refrigerada hasta el momento del análisis. El tiempo máximo de vida útil de la muestra es de veintiocho días.

Las muestras que contengan sólidos sedimentables deben mezclarse muy bien para homogenizar y obtener una muestra representativa.

7. APARATOS, REACTIVOS Y MATERIALES

7.1. Aparatos

- Bureta digital marca Metrohm, modelo Dosimat 775, con una capacidad de 20 mL y una resolución de 0.002 mL, y un agitador magnético complementario.
- Bureta de vidrio marca Kimax, con una capacidad de 10 mL y una resolución 0.02 mL.
- Bureta de vidrio dispensadora, con una capacidad de 50 mL y una resolución 0.1 mL.
- Balanza analítica con aproximación de 0.0001 g.
- Microdigestor para micro DQO marca Bioscience, Inc., diseñado para mantener una temperatura constante de operación de 150°C.
- Termoreactor para DQO marca E & Q., diseñado para mantener una temperatura constante de operación de 150°C.

7.2. Reactivos

Solicite los reactivos diligenciando el formato AF0041.

- *Agua Ultrapura*, obtenida en la pistola del purificador Labconco WaterPro PS.
- *Solución de digestión, 0,0167M ó 0.1 N*: Ponga a secar a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 4,913 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónese muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO₄) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.
- *Reactivo de ácido sulfúrico*: Prepare con una semana de anticipación. Agregue sulfato de plata (Ag₂SO₄), grado reactivo o técnico, en cristales o en polvo, a una cantidad de H₂SO₄ concentrado en proporción de 5,5 g de Ag₂SO₄/kg H₂SO₄

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0086	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 05

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA

(aproximadamente 545 mL de ácido), tome una botella de 2500 mL de ácido sulfúrico concentrado (como viene en la presentación del 98%) y adicionele 25.2294 g de Ag_2SO_4 . Deje en reposo una semana para que se disuelva el Ag_2SO_4 . Una vez disuelto, transfiera cuidadosamente y almacene en la bureta de vidrio dispensadora, con una capacidad de 50 mL, a temperatura ambiente.

- *Solución indicadora de ferroina*: Disuelva 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 0,695 g de Sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua desionizada filtrada y diluya en balón de 100 mL. Almacene en frasco con dispensador gota a gota y a temperatura ambiente.
- *Ftalato ácido de potasio (KHP) estándar*. Triture ligeramente y ponga a secar Biftalato de potasio ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$) a 110°C hasta peso constante. Disuelva 0,2125 g de biftalato de potasio en agua ultrapura y lleve a volumen en un balón volumétrico de 500 mL. El biftalato tiene una DQO teórica de 1,176 mg O_2/mg y la solución tiene una DQO teórica de 500 mg O_2/L . La solución es estable hasta tres meses si se conserva refrigerada; se debe verificar la presencia o ausencia de crecimiento biológico, y en caso afirmativo descartarla.
- *Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado* ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) FAS, aproximadamente 0.04 N: Disuelva 15,6856 g de FAS en agua desionizada filtrada. Adicionele 20 mL de H_2SO_4 concentrado, grado reactivo lentamente, deje enfriar y complete en balón volumétrico de 1000 mL. Valore la solución diariamente con la solución de digestión de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- *Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado* ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) FAS, aproximadamente 0.1 N: Disuelva 39,2140 g de FAS en agua desionizada filtrada. Adicionele 20 mL de H_2SO_4 concentrado, grado reactivo lentamente, deje enfriar y complete en balón volumétrico de 1000 mL. Valore la solución diariamente con la solución de digestión de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- *Solución de digestión, 0,04175 M ó 0.25 N*: Seque a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 12.2825 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adicionele muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO_4) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.
- *Solución de digestión, 0,004175 M ó 0.025 N*: Seque a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 1.2283 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adicionele muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO_4) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0086	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 05	Página 7 de 11
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA				

7.3. Materiales

- Balones aforados clase A de 50 mL.
- Erlenmeyers de 125 mL.
- Pipetas aforadas clase A, de 2, 2.5, 5, 6, 10, 20 y 25 mL.
- Pipetas graduadas de 5 y 10 mL.
- Probetas vidrio de 50 mL.
- Transferpipeta de 10 mL.
- Pipeta Pasteur.
- Microespátula.
- Micropipeta de 1000 µL.
- Tubos de digestión, de vidrio borosilicato, de 16 × 100 mm, con tapa rosca con empaque de Teflón y que soporten temperaturas hasta de 200°C.
- Tubos de digestión, de vidrio borosilicato, de 25 × 150 mm, con tapa rosca con empaque de Teflón y que soporten temperaturas hasta de 200°C.

8. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE VIDRIERÍA:

Lave toda la vidriería con jabón alcalino o con soda al 10%, enjuague con agua de la llave, posteriormente déjelo en ácido sulfúrico al 10% y enjuague con agua destilada.

Utilice la vidriería a la que se le haya efectuado control de calidad y resérvela únicamente para las determinaciones de DQO. Remítase a Procedimiento Relacionado PC0125 Lavado material de vidrio.

Los tubos se lavan entre ensayo y ensayo con agua ultrapura se someten a lavado general cuando presentan película de grasa.

9. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES

- A partir de la solución patrón de Biftalato de potasio con una DQO igual a 500 mgO₂/L, prepare estándares de las siguientes concentraciones 50; 100; 200 mgO₂/L.
- Prepare un estándar de 50 mgO₂/L de DQO a partir de la solución de 500 mgO₂/L de DQO, tome 5 mL de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 mL, con agua ultrapura.
- Prepare un estándar de 100 mgO₂/L de DQO a partir de la solución de 500 mgO₂/L de DQO, tome 10 mL de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 mL, con agua ultrapura.

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0086	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 05
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA		

- Prepare un estándar de 200 mgO₂/L de DQO a partir de la solución de 500 mgO₂/L de DQO, tome 20 mL de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 mL, con agua ultrapura.
- Prepare un estándar de 5.0 mgO₂/L de DQO a partir de la solución estándar de 50 mgO₂/L de DQO, tome 5 mL de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 mL, con agua ultrapura .
- Cada vez que pase un lote de muestras incluya estándares de control de concentraciones 50 y 200 mgO₂/L, para muestras que se procesen con Dicromato 0,10 N. Estándares de control de concentraciones 100 y 500 mgO₂/L, para muestras que se procesen con Dicromato 0,25 N. Estándar de control de concentración 5.0 mgO₂/L, para muestras que se procesen con Dicromato 0,025 N.

10. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

10.1 Digestión de la muestra

- o Precaliente conectando el digestor una hora antes de colocar las muestras para que éste alcance los 150 °C.
- o Preparación de blancos: Transfiera una alícuota de 2,5 mL de agua ultrapura en un tubo de digestión, adicione 1,5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico (este reactivo debe ser dispensado gota a gota por la pared del tubo. Tape herméticamente los tubos, agite varias veces, sin invertir.

PRECAUCIÓN: Use la careta de seguridad y guantes gruesos para proteger las manos del calor producido al mezclar el contenido de los tubos, mezcle minuciosamente antes de aplicar calor, para prevenir el calentamiento local en el fondo del tubo y una posible reacción explosiva.

- o Prepare 6 tubos como blancos, 3 de ellos colóquelos en digestión junto con las muestras y los otros 3 déjelos sin digerir, para valorar la concentración del FAS.
- o Tratamiento de la muestra. Agite vigorosamente la muestra, transfiera a un tubo de digestión, 2,5 mL de muestra, agregue cuidadosamente 1.5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico por la pared del tubo de tal manera que se forme una capa de ácido debajo de la mezcla de muestra y solución digestora. Tape herméticamente y agite, si la muestra presenta coloración verdosa o azul, indica que se encuentra fuera de rango de lectura, repita el procedimiento utilizando dicromato de potasio 0,25 N, titule con sulfato ferroso amoniacal. Tenga en cuenta las precauciones.
- o Verifique el tipo de muestra, cuando ésta corresponda a un adiciónado recuerde medir el volumen antes de iniciar el análisis y regístrelo en el formato y en el envase.

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO₅)

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

TÍTULO: **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA**

CÓDIGO: **TP0087**

VERSIÓN: **02**

COPIA N°: _____
ELABORADO POR:

MARIA OLGA NAVARRO R.
Bacterióloga

REVISADO Y
ACTUALIZADO POR:

MARÍA STELLA GAITAN
Ingeniera de Alimentos

APROBADO POR:

MARTA ELENA DUQUE S.
Coordinadora GLCA

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada **dos** años.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
	Página 4 de 13		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días. INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

5. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

NOMBRE DEL METODO:	DETERMINACIÓN BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.		
CÓDIGO DEL PSO:	TP0087		
FECHA DEL INFORME DE ESTANDARIZACIÓN:	-		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACION
LIMITE DE DETECCION	2	mgO/ mL	Corresponde al limite de cuantificación.
PRECISION EN TÉRMINOS DE %CV	1.60	%	Para estándar 2.0 mgO/L
	2.43	%	Para estándar 5000 mgO/L
EXACTITUD EXPRESADO COMO % DE ERROR RELATIVO	-1.36	%	Para estándar 2.0 mgO/L
	8.04	%	Para estándar 5000 mgO/L
RANGO DE TRABAJO (Lectura Directa)	N-A		Sin dilución de la muestra
INTERVALO DE APLICACIÓN DEL METODO	2 - 5000	mgO/L	Con la mayor dilución posible o aceptable.
RECUPERACION EXPRESADO COMO %	103	%	Para M ₁ ,Ab 200 mgO/L
	104	%	Para M ₁ ,Aa 600 mgO/L

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRA

Tome la muestra de tal manera que sea representativa del vertimiento en estudio. Utilice frascos plásticos de polipropileno de 2000 mL de capacidad. Refrigere la muestra a 4°C hasta el momento del análisis. Lleve las muestras a temperatura ambiente. Efectúe el análisis dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra

7. APARATOS, REACTIVOS, MATERIALES Y VIDRIERIA

7.1 EQUIPOS

- Medidor de oxígeno marca YSI, modelo 52.
- Balanza analítica de cuatro cifras decimales (Mettler Toledo AG 204)
- Incubadora (Sargent - Welch. Frigidaire).

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

7.2 REACTIVOS

- Agua destilada y Ultrapura.
 - *Solución tampón de fosfato*: Disuelva 8,5 g de KH_2PO_4 , 21,75 g de K_2HPO_4 , 33,4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, y 1,7 g de NH_4Cl en aproximadamente 500 mL de agua ultrapura y diluya a 1 L. El pH del buffer preparado debe ser 7,2 sin posteriores ajuste, permitiendo un intervalo entre 7.1 – 7.3 y verificar el pH de cada preparación. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.
 - *Solución de sulfato de magnesio*: Disuelva 22,5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua ultrapura y diluya a 1L. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.
 - *Solución de cloruro de calcio*: Disuelva 27,5 g de CaCl_2 en agua ultrapura y diluya a 1L. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.
 - *Solución de cloruro de hierro (III)*: Disuelva 0,25g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua ultrapura, diluya a 1L. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.
 - *Ácido Sulfúrico 1 M*. En un vaso de precipitados coloque alrededor de 300 mL de agua ultrapura y agregue muy lentamente y mientras agita, 28 mL de ácido sulfúrico concentrado; diluya a 1 L.
 - *Hidróxido de Sodio 1M*. Disuelva 40 g de hidróxido de sodio en agua ultrapura y diluya a 1 L.
 - *Solución de glucosa - ácido glutámico*: Seque a 103 °C por 1 h glucosa (grado analítico) y ácido glutámico (grado analítico). Disuelva 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en agua ultrapura y diluya a 1 L., almacenarlo en un frasco de tapa de rosca, estéril, refrigerado y se puede usar por una semana.
- Cepa o Semilla*: Agua superficial contaminada, tomada en el Río Fucha entrada a Abastos, se toma los martes y los viernes, se alimenta en la tarde después de haber realizado los análisis del día porque de lo contrario queda muy concentrada. Antes de alimentar la cepa, agitar para homogenizar el contenido del erlenmeyer que la contiene, se encuentra en el cuarto de máquinas en aireación continua, desechar el 50% de la almacenada allí, agregar la misma cantidad que se elimino y mezclar. Al día siguiente ya puede ser utilizada, mezclar antes de transferir a un vaso de precipitados el volumen necesario de acuerdo al número de muestras, dejar decantar en el vaso y tomar el sobrenadante, adicionar 2 mL a cada botella Winkler.

7.3 MATERIALES Y VIDRIERIA

- Botellas de Polipropileno de 2000 mL.
- Botellas Winkler de aproximadamente 300 mL de capacidad
- Garrafa con llave de 20 L de capacidad y con dispensador o mangueras.
- Microespátula metálica.
- Balón aforado de 1L Clase A
- Balones aforados de 100 mL Clase A o Clase B
- Pipetas graduadas de 10 mL. Clase B
- Pipetas graduadas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 50, 100 mL boca ancha.
- Probetas de 250, 500ml.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

8. LIMPIEZA DE VIDRIERIA

Use el material disponible, con control de calidad, que ha sido lavado con detergente biodegradable (material sumergido durante 30 min.), abundante agua de la llave y agua destilada, respectivamente. Ver procedimiento referente al lavado de material de vidrio TP0125.

La garrafa donde se prepara el agua de dilución debe lavarse antes y después de su uso con agua caliente, varias veces y enjuagar varias veces con agua destilada, recoger el agua para el análisis. No aplicar jabón para el lavado.

9. PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES DE CONTROL

Para mejores resultados seque una pequeña cantidad de los reactivos cada vez que se va a preparar esta solución.

- En un vaso de precipitados coloque alrededor de 0.2 g de ácido glutámico y en otro 0.2g de glucosa y séquelo a 102 – 104 °C durante una hora en el horno binder.
- Deje enfriar dentro del desecador, hasta temperatura ambiente.
- En un vaso de precipitado pese 0,1500 gramos de ácido glutámico y en otro 0,1500 gramos de glucosa.
- Coloque 200 mL de agua ultrapura en un balón aforado de 1litro, transfiera cuantitativamente los 0,1500 g de ácido glutámico, enjuague varias veces el vaso que lo contiene, agite hasta disolución completa.(No se disuelve fácilmente)
- Transfiera cuantitativamente los 0,1500 g de glucosa, enjuague varias veces el vaso que lo contiene, agite hasta disolución completa se agrega éste en el mismo balón del ácido glutámico.
- Complete a volumen y homogenice invirtiendo el balón varias veces.

Nota : Este estándar se puede utilizar por una semana, manteniéndolo tapado y refrigerado. Cuando se vaya a utilizar debe estar a temperatura ambiente.

10. PROCEDIMIENTO

10.1. Preparación del agua de dilución.

- Llene la garrafa con agua destilada, la necesaria para el análisis, teniendo en cuenta que el gasto aproximado es de 300 mL por botella winkler y van a utilizar, 3 botellas para blanco, 3 botellas para cepa más agua de dilución, 3 botellas para estándar, 4 botellas para muestras y 1,5 L adicionales.
- Reserve el volumen de agua destilada desde el día anterior.
- Airee el agua por dos horas mínimo, utilizando la bomba de los acuarios, que se encuentra disponible en el lugar de trabajo.
- Verifique que la temperatura del agua de dilución sea de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02	Página 7 de 13
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días. INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA				

- Controle la temperatura, midiéndola con el oxímetro a una muestra que se toma en una botella Winkler, repita el proceso hasta llegar a 19 °C
- Agregue 1 mL de cada una de las siguientes soluciones, por cada litro de agua de dilución a preparar: Solución tampón de fosfatos, Solución de sulfato de magnesio, Solución de cloruro de calcio, Solución de cloruro de hierro (III).

10.2. Criterios para determinar la dilución aproximada de la muestra.

Tipo de muestra	mililitros de muestra
Residuales domésticas crudas fuertes	0,3 – 0,6 – 1,0
Residuales domésticas crudas normales	0,5 – 1,0 – 1,5
Residuales domésticas (estructuras intermedias)	1,0 – 2,0 – 3,0
Residuales domésticas tratadas (funcionamiento regular)	2,0 – 5,0 - 10
Residuales domésticas tratadas (funcionamiento normal)	5 – 10 – 20
Residuales domésticas tratadas (excelente funcionamiento)	10 – 20 - 50
Residuales lácteas, licores, cervecerías, gaseosas.	Aplicar la fórmula
Aguas superficiales parcialmente contaminadas	5,050
Aguas superficiales no contaminadas	50 – 70 – 90 - 100

El porcentaje se refiere al volumen adicionado por cada 100 mL de la botella winkler.

10.3. Alistamiento general

- Aliste 3 botellas por cada muestra, blanco, blanco con cepa y estándar a procesar.
- Diligencie el formato y registre el valor de 293 mL que correspóndela valor promedio de las botellas del laboratorio (293+/-4 mL), registre también el volumen de la alícuota que se tomará de la muestra y la dilución previa realizada en balón aforado si esta fuera necesaria de acuerdo a los criterios dados en 10.2.
- Adicione 2 mL de la Cepa o Semilla tomando las precauciones citadas en el numeral 7.2 Reactivos . cepa o Semilla...

10.4. Lectura de Blanco

- Aliste tres botellas Winkler
- Rotule las botellas como "Blanco" y la fecha de análisis.
- Adicione agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella.
- Calibre el equipo de acuerdo a TM0230 Manual del Oxímetro YSI 52 con la primera botella de blanco a 73% de saturación de oxígeno. (2577m.s.n.m.)

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

- Lea el oxígeno inicial de los blancos, llene totalmente dejando el sello hidráulico(pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente)
- Lea las otras dos botellas de blancos como muestras y registre los datos en el formato TF 0025 e incube a 20+/- 3°C por cinco días.
- Utilice una de las botellas del blanco para calibrar el oxímetro al quinto día y lea el Oxígeno disuelto residual de los blancos, blanco con cepa, estándares y muestras.

10.5. Lectura de blanco con adición de cepa

- Aliste tres botellas Winkler
- Rotule las botellas como "Blanco + cepa" y la fecha de análisis.
- Adicione 2 mL de cepa o semilla.
- Adicione agua de dilución solamente hasta la mitad del cuello de la botella., para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra.
- Lea el oxígeno inicial de los blancos con adición de cepa, llene totalmente dejando el sello hidráulico(pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente)
- Registre los datos en el formato TF 0025 e incube a 20 +/-3°C por cinco días.
- Al quinto día lea el Oxígeno disuelto residual

10.5. Lectura de estándar

- Aliste tres botellas Winkler
- Rotule tres de las botellas como "Estándar 198 mg/L" ("Estándar 19,8 mg/L este estándar no se procesa como control hasta que se autorice su utilización) y la fecha de análisis.
- Adicione 2 mL de cepa o semilla.
- Adicione 6 mL del estándar correspondiente.
- Adicione agua de dilución solamente hasta la mitad del cuello de la botella., para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra.
- Lea el oxígeno inicial de los estándares, llene totalmente dejando el sello hidráulico(pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente)
- Registre los datos en el formato TF 0025 e incube a 20+/- 3°C por cinco días.
- Lea el Oxígeno disuelto residual a los 5 días de incubación.

10.6. Procesamiento de la muestra

- Después de establecer la cantidad de muestra que necesita de acuerdo a las diluciones a realizar, agite la muestra para homogenización completa y sirva en un vaso de precipitados la muestra, ajuste el pH de la muestra entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico 1 M o hidróxido de sodio 1 M, según sea el caso, dosificando estos reactivos con una pipeta Pasteur que dosifique gotas muy pequeñas.(Punta en buen estado)
- Aliste cuatro botellas Winkler
- Rotule las botellas con el número de muestra, la dilución correspondiente y la fecha de análisis. Para determinar la dilución aproximada siga los criterios de dilución de muestras.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días. INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

- Registre en el formato TF 0025 el volumen real de la botella Winkler impreso en la botella usada.
- Adicione a cada botella la cantidad de muestra que se ha establecido, si se requiere hacer dilución realicela en un balón aforado clase A ó B agite y sirva en la botella la cantidad requerida.
- Adicione 2 mL de cepa.
- Adicione agua solamente hasta la mitad del cuello de la botella, para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra.
- Lea el oxígeno inicial de las cuatro botellas de muestra, llene totalmente dejando el sello hidráulico(pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente)
- Si al medir el oxígeno disuelto inicial, ha descendido a menor de 6, preparar otra botella utilizando un volumen de muestra menor.
- Registre los datos en el formato TF 0025 e incube a 20° +/- 3 °C por cinco días.
- Al quinto día lea el Oxígeno disuelto residual
- Calcule la DBO₅ con los resultados obtenidos (ver ecuación en el numeral 10).

11. Procesamiento de datos y cálculo de resultados

Efectúe los cálculos por medio de la ecuación:

Donde:

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

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

12. Sección de control de calidad (CC) y Aseguramiento de la calidad

En forma paralela, con cada grupo o lote de muestras, es necesario procesar en un mismo día, un estándar por triplicado. Registre los resultados en la CARTA DE CONTROL del método.

Una vez hechos los cálculos y registrados los resultados en el formato TF0025, entréguelo al líder del grupo de análisis fisicoquímico.

Tome en cuenta los siguientes aspectos a la hora de reportar los análisis:

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03	Página: 1 de 7
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

TÍTULO: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A
103 – 105 °C.

CÓDIGO: TP0088

VERSIÓN: 03

COPIA N°: _____

ELABORADO POR: _____
ANA MARÍA HERNÁNDEZ H
ING. QUIMICA U.N.

REVISADO POR: _____
ROCIO DEL PILAR BOJACA B.
QUIMICA U.N.

APROBADO POR: _____
MARTA ELENA DUQUE S.
Coordinadora GLCA

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada **dos años**.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRA

Tome la muestra en tal forma que no contenga partículas flotantes grandes o aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos.

Utilice frascos plásticos de polipropileno de por lo menos 500 mL de capacidad.

Refrigere la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, lleve la muestra a temperatura ambiente.

Efectúe el análisis dentro de los siete días siguientes a la toma de la muestra.

7. APARATOS, REACTIVOS, MATERIALES Y VIDRIERIA

7.1 APARATOS

7.1.1. Horno digital (ED 53 WTB Binder)

7.1.2. Balanza analítica de cuatro cifras decimales (Mettler Toledo AG 204)

7.1.3. Bomba de vacío (Emerson Gast)

7.2 REACTIVOS

7.2.1. Agua destilada

7.2.2. Caolín coloidal USP (United States Pharmacopoeia XIII)

7.3 MATERIALES Y VIDRIERIA

7.3.1. Botellas de Polipropileno.

7.3.2. Aparato completo para filtración por membrana, fabricado en plástico (policarbonato), para membranas de 47 mm de diámetro, capacidad de 250 mL, para ser utilizado para filtración al vacío o a presión, con recipiente receptor de filtrado.

7.3.3. Filtros de fibra de vidrio Ref: S&S GF6, diámetro 47 mm, REF 10370019

7.3.4. Cápsulas de aluminio de 65 mm de diámetro, para pesar.

7.3.5. Pinzas metálicas para manejo de las cápsulas de aluminio y de los filtros de fibra de vidrio.

7.3.6. Microespátula metálica para manejo de los filtros de fibra de vidrio.

7.3.7. Desecador para SST.

7.3.8. Probetas de vidrio de 100, 250 y 500 mL.

7.3.9. Frasco lavador.

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/082007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

8. LIMPIEZA DE LA VIDRIERÍA

El material de vidrio que se utiliza en este método se lava siguiendo el procedimiento general de lavado que se sigue en el laboratorio y que se describe en el documento TP0125.

9. PREPARACION DE ESTÁNDARES DE CONTROL DE CALIDAD

En un vaso de 250 mL coloque alrededor de 10 gramos de caolín y séquelo a 103-105°C durante dos horas, como mínimo. Deje enfriar dentro de un desecador, hasta temperatura ambiente. Prepare las siguientes muestras como control de calidad:

ESTÁNDAR CONTROL Concentración 50 mg/L Prepárelo diariamente.
 Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0050 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez.
 Preparación: Pese directamente en un vaso de 250 mL 0.0050 g de caolín y adicione 100 mL de agua destilada medidos con una probeta. Agite para homogeneizar.
 Peso esperado de residuo seco = 5 mg

ESTÁNDAR CONTROL Concentración 500 mg/L. Prepárelo diariamente.
 Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0500 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez.
 Preparación: Siga el procedimiento indicado anteriormente para el patrón de 50 mg/L.
 Peso esperado de residuo seco = 50 mg.

10. PROCEDIMIENTO.

- 10.1. Preparación del filtro o disco de fibra de vidrio: Siempre maneje el disco mediante pinzas metálicas y/o microespátula metálica. No manipule el filtro con la mano.
 - 10.1.1 Marque cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva.
 - 10.1.2 Coloque el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplique vacío.
 - 10.1.3 Lave el disco con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada, medidos con probeta.
 - 10.1.4 Deje el vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.
 - 10.1.5 Cuidadosamente y con la ayuda de una microespátula o de unas pinzas, retire el disco y colóquelo dentro de la cápsula de aluminio correspondiente.
 - 10.1.6 Seque el conjunto (cápsula de aluminio + disco) en el Horno precalentado a 105°C por 1 h.
 - 10.1.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/082007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

- 10.1.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato correspondiente TF0067, en la columna Tara 1.
- 10.1.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso. Mantenga el conjunto en un desecador hasta que se vaya a utilizar; registre en columna tara 2.
- 10.1.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (un tercer ciclo de secado se registra en la columna de observaciones).
- 10.2 Procesamiento de la muestra.
- 10.2.1 Saque del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que va a procesar. Instale el disco en el equipo de filtración. Haga vacío en el sistema y fije el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.
- 10.2.2 Agite invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces.
- 10.2.3. De la muestra recién agitada, tome rápidamente una alícuota medida con probeta, transfiera cuantitativamente al filtro y registre el volumen total filtrado en el formato TF0067.
- 10.2.4 Deje el vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.
- 10.2.5 Retire cuidadosamente el disco con ayuda de una microespátula y colóquelo en la cápsula de aluminio correspondiente.
- 10.2.6 Seque el conjunto en el Horno a 103-105°C, durante 1 hora.
- 10.2.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
- 10.2.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato TF0067, en la columna Peso 1
- 10.2.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso, en la columna peso 2.
- 10.2.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (registre el tercer peso en la columna de observaciones).
- 10.2.11 Tape firmemente los frascos que contienen el residual de cada muestra. Entréguelos a la persona designada para el manejo del cuarto frío con el fin de que sean almacenados nuevamente.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03	Página: 7 de 7
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.				

11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALCULO DE RESULTADOS

Efectúe los cálculos por medio de la ecuación:

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

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

A: Peso final del conjunto (disco + cápsula de aluminio) con el residuo seco, en mg.

B: Peso inicial del conjunto (disco + cápsula de aluminio), en mg.

V: Volumen de muestra filtrada, en mL.

Registre los resultados en el formato TF0067, con dos cifras significativas.

12. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

12.1 En el análisis de muestras debe considerar la lectura de un estándar de baja concentración (50 mg/L) y uno de alta concentración (500 mg/L). Los resultados de los análisis de los estándares de control deben encontrarse dentro de los límites establecidos en la carta de control del método; si el resultado analítico cae fuera de los límites de control normales, deben revisarse los reactivos y material de vidrio. El análisis solo se puede reanudar cuando se corrija el problema.

12.2 Se debe procesar un duplicado por cada 20 muestras analizadas (por lo menos uno). Los duplicados evalúan la limpieza del material de vidrio y la replicabilidad del método. El porcentaje de la diferencia entre los duplicados no debe ser mayor al 10%; si la variación excede este límite, debe repetirse el análisis.

12.4 Los resultados son diligenciados en el formato TF0067 correspondiente a captura de datos de métodos gravimétricos reportando dos cifras significativas, y deben ser entregados al líder del grupo de análisis fisicoquímicos.

13. BIBLIOGRAFIA

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 20ed., New York, 1998*

Instructivo IS0174. Documentación de la Calidad. Sistema de Calidad del Laboratorio del Ideam

Carpeta de Validación del Método (Código CV0293), *Documentación de la Calidad. Sistema de Calidad del Laboratorio del Ideam.*

Procedimiento relacionado, PR, código PC0125. *Documentación de la Calidad. Sistema de Calidad del Laboratorio del Ideam.*

ROMERO ROJAS, J.A., Calidad del Agua Escuela Colombiana de Ingeniería 2002.

GRASAS Y ACEITES

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP0150	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 02
DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET			

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET

CÓDIGO: TP0150

VERSIÓN: 02

COPIA N°: _____

ELABORADO POR:

ROCÍO DEL PILAR BOJACA B.
Química

REVISADO POR:

ANA MARIA HERNANDEZ.
Ingeniera Química

APROBADO POR:

MARTA ELENA DUQUE SOLANO,
Coordinadora Grupo Laboratorio de Calidad
Ambiental

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada dos años.



4. LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

- Los solventes orgánicos tienen la habilidad de disolver no solo las grasas y los aceites sino también otras sustancias orgánicas. Cualquier material filtrable soluble en el solvente se reporta como grasa y aceite, por ejemplo el azufre elemental, compuestos aromáticos complejos, hidrocarburos derivados de cloro, nitrógeno y azufre, ciertos tintes orgánicos y la clorofila.
- El método es completamente empírico y solo se pueden obtener resultados duplicados si se siguen de manera estricta todos los detalles.
- La velocidad y el tiempo de extracción en el aparato Soxhlet deben ser exactamente los especificados debido a la solubilidad variable de las diferentes grasas.
- El tiempo requerido para secar y enfriar el material extraído no puede ser alterada.
- Puede que haya un incremento gradual en el peso, debido presumiblemente a la absorción de oxígeno, y/o una pérdida gradual de peso debida a la volatilización.
- El método no es aplicable para la determinación de fracciones de bajo punto de ebullición que se volatilicen a menos de 85°C. Los compuestos que se volatilizan a/ o por debajo de 103°C se pierden cuando se seca el filtro.
- Los residuos más pesados del petróleo pueden contener una porción significativa de materiales que no son extraíbles con el solvente

5. RESULTADO DE LA VALIDACIÓN DEL MÉTODO

- Validación en Proceso

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

- Para aguas de tipo industrial la toma de muestra se debe realizar puntual.
- Tome la muestra de forma directa del vertimiento y evitando llenar totalmente el frasco.
- La tapa debe estar provista de una lámina de papel aluminio que impida el contacto de la muestra con el interior de la tapa.
- La muestra se debe tomar en frasco de vidrio claro de boca ancha con capacidad máxima de un litro, previamente calibrado y evitando subdividir la muestra en el laboratorio. Si la botella no está calibrada, demarque el nivel en el frasco para posterior determinación del volumen de muestra.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP0150	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 02
	Página 4 de 8		
DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET			

- El frasco debe estar previamente enjuagado con el solvente para remover cualquier película de detergente.
- Adicione a las muestras HCl o H₂SO₄ concentrado hasta pH < 2, con el fin de romper las emulsiones e hidrolizar los jabones y detergentes, los cuales pierden su componente polar y revierten a una estructura hidrocarbonada que es incluida en la determinación. Verifique el pH con papel indicador y acidifique la muestra en la botella.
- Cuando se requiere información acerca del promedio de concentración de grasas y aceites sobre un periodo de tiempo extenso, analizar porciones individuales tomadas a intervalos de tiempo predeterminados, esta muestra no se puede componer..
- La muestra preservada se puede almacenar durante un periodo máximo de 28 días a una temperatura de 4°C.

7. APARATOS, REACTIVOS Y MATERIALES

7.1 Aparatos

- Extractor Soxhlet BÜCHI B-810.
- Bomba de vacío.
- Cabina extractora de vapores orgánicos
- Balanza analítica de cuatro cifras decimales
- Horno de secado
- Rotavapor (para la recuperación del solvente)
- Desecador grande

7.2 Reactivos

- Ácido clorhídrico, HCl concentrado o Acido sulfúrico, H₂SO₄ concentrado
- Hexano, C₆H₁₂, punto de ebullición 69°C, libre de residuos.
- Suspensión para ayuda de filtración, tierra de diatomáceas, 10g/L. Suspender 10 g de la tierra de diatomácea en 1 L de agua destilada.
- Aceite de origen vegetal o mineral.

7.3 Materiales

- Embudo Buchner, de 12 cm de diámetro.
- Dedal de extracción de vidrio.
- Papel de filtro, de 11 cm de diámetro cuantitativo (Whatman N° 40 o equivalente)
- Discos de muselina.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP0150	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 02
DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET			

- Pinzas, metálicas.
- Frasco lavador.
- Vaso de precipitado de 50 mL.
- Varilla de vidrio

8. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE VIDRIERÍA

El material debe estar libre de grasa. Lavar con detergente y enjuagar con abundante agua caliente. Si el material lo requiere, realizar un enjuague con solvente. Ver procedimiento lavado de material TP0125.

9. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES

9.1 Blanco

Tome 1 litro de agua destilada y acidifíquela con H_2SO_4 o HCl a $pH < 2$ (aproximadamente 2 gotas). Verificar con papel indicador.

9.2 Estándares de control

Pese 5,0 g de aceite mineral en un vaso de precipitados y disuelva con hexano. Transfiera cuantitativamente a un balón de 50 mL y lleve a volumen con hexano, para obtener una concentración de 100.000 mg/L. Almacene inmediatamente en un frasco tapa rosca y refrigere en la nevera de cromatografía ($- 18^{\circ}C$).

Estándar de 50 mg/L: Dispense de este stock 500 μL en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con H_2SO_4 a $pH < 2$.

Estándar de 500 mg/L: Dispense de este stock 5 mL en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con H_2SO_4 a $pH < 2$.

10. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

10.1 Preparación del lecho filtrante

- Corte la muselina en círculos de diámetro mayor en un centímetro al del embudo buchner a utilizar.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP0150	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 02
DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET			

- Ponga en el fondo del embudo buchner el disco de muselina y sobre esta un papel de filtro cuantitativo.
- Adhiera el papel filtro y la muselina al fondo del embudo humedeciéndolo y presionando las orillas del papel con un agitador de vidrio limpio.
- Aplique vacío y filtre 100 mL de suspensión de ayuda (tierra de diatomácea) y lave con abundante (100 mL) agua destilada.
- Suspnda la filtración hasta cuando no pase más agua a través del lecho filtrante Garantizar la simetría del papel y la homogeneidad de la capa de tierra de diatomácea.

10.2 Filtración y Extracción

- Consigne los datos en las casillas superiores del formato de captura de datos TF 0067.
- Afore la botella demarcando el nivel de la muestra.
- Con la ayuda de la varilla de vidrio adicione poco a poco y cuantitativamente la muestra a través del lecho filtrante evitando pérdidas por el borde del papel.
- Filtre el blanco, estándar o muestra cuantitativamente, utilizando varilla de vidrio para cada uno. Aplique vacío hasta cuando no pase más agua a través del lecho filtrante.
- No permita que el nivel de la muestra supere el borde del medio filtrante.
- Doble el filtro y transféralo al dedal de extracción.
- Seque el dedal con las muestras, el recipiente de la muestra y la varilla empleada en la filtración en el horno a 103°C durante 30 minutos.
- Lleve los dedales al extractor Soxhlet.
- Pese los vasos de extracción.
- Enjuague con solvente el recipiente que contenía la muestra y la varilla de filtración, transfiera el enjuague al vaso de extracción para recuperar el material graso adherido a las paredes del recipiente.
- Adicione el solvente al vaso de extracción hasta 180 mL para La extracción (aproximadamente el 90% del volumen total del vaso de extracción) y llévelo a la plancha de calentamiento del equipo extractor.
- Cierre el equipo verificando que haya sellado correctamente (el vaso no gira, ajuste el vaso al sello del soxhlet) Compruebe que la palanca situada en la parte superior derecha del equipo está en la posición "closed".

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código TP0150	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 02	Página 7 de 8
	DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET			

- Conecte el baño de aceite, verifique que la temperatura de calentamiento es de 110 °C y abra inmediatamente el suministro de agua de refrigeración
- Realice la extracción durante 4 horas a partir del primer sifón que realice el equipo.
- Acabada la etapa de extracción abra la válvula de drenaje (posición open) para la recuperación del solvente y deje secar los vasos de extracción.
- Apague y desconecte el baño de aceite, deje el flujo de agua hasta que el equipo se enfríe (aprox. una hora).
- Retire los vasos con la grasa obtenida en la extracción, no toque el vaso con los guantes, emplee pinzas.
- Lleve los vasos a la cabina extractora para eliminar el solvente residual.
- Lleve al desecador los vasos fríos durante 30 minutos.
- Determine el peso final.

NOTA: Según el uso del equipo se recomienda limpiarlo periódicamente realizando media hora de reflujo con solvente y lavando los sellos inferiores de cada uno de los extractores Soxhlet, limpiándolos con papel absorbente impregnado de solvente.

11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CÁLCULO DE RESULTADOS

El aumento en peso del vaso de extracción tarado es debido principalmente a la grasa y el aceite, siendo el contenido de estos:

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

Donde:

Pf = peso final del matraz de extracción, g.

Pi = peso inicial del matraz de extracción, g.

V = Volumen de muestra, mL

$$\%RECUPERACION = \frac{(Pafin - Pvaso) * 100}{Pesoaini}$$

Donde:

Pafin = peso vaso con grasa obtenido después de la extracción

Pvaso= Peso del vaso de extracción vacío.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP0150	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 02
DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET			

Pesoaini = peso de aceite para la preparación del estándar.

12. SECCIÓN DE CONTROL DE CALIDAD (CC) Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

En forma paralela, con cada grupo o lote de muestras que se procese en un mismo día, extraer un estándar de aceite mineral o vegetal, preparados como está descrito en el numeral 9.2 de éste PSO. Verifique los estándares de control, si el resultado analítico cae fuera de los límites de control normales, deben revisarse el procedimiento de filtración, análisis o el analito de control. Registre los porcentajes de recuperación en la CARTA DE CONTROL del método. Grafique el resultado obtenido para cada estándar contra la fecha en que se corrió.

Lleve los registros de los porcentajes de recuperación de los estándares en la carta de control para la determinación de grasas y aceites. Registre las iniciales del analista y la fecha de análisis en las casillas correspondientes y grafique el valor de cada estándar.

Los blancos se analizan para determinar si la calidad del material y de los reactivos es óptima. Estos deben registrar pesos menores al límite de detección. Si el valor de los blancos supera el límite del método se recomienda lavar el material, el equipo de extracción y verificar el solvente. Si el solvente se ha destilado realizar la nuevamente este procedimiento.

Cuando los resultados se encuentren entre el límite de alarma y control, revise todo el procedimiento para determinar que ocurre. Si cualquier dato cae fuera de los límites de control debe ser reexaminado. No realice más análisis hasta verificar que sucede, comuníquelo la anomalía al líder de análisis y revise, inicie nuevamente la marcha analítica cuando el líder de análisis lo ordene.

13. REFERENCIAS

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21 ed., New York. 2005
- Instructivo AI0174.
- Carpeta de Validación del Método (Código CV0270).

HIDROCARBUROS TOTALES

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia			
	SUBDIRECCION DE HIDROLOGÍA – GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0155	Fecha: 04/05/2007	Versión: 02	Página: 1 de 8
HIDROCARBUROS (HC) EN AGUAS POR EXTRACCION SOXHLET O LIQUIDO-LIQUIDO Y GRAVIMETRIA				

TÍTULO: **HIDROCARBUROS (HC) EN AGUAS POR EXTRACCION SOXHLET O LÍQUIDO – LÍQUIDO Y GRAVIMETRIA.**

CÓDIGO: **TP0155**

VERSIÓN: **02**

COPIA N°: _____

ELABORADO POR: _____
ROCIO DEL PILAR BOJACA BARRERO
Química

REVISADO Y
ACTUALIZADO POR: _____
ANA MARIA HERNANDEZ
Ingeniera Química

APROBADO POR: _____
MARTA ELENA DUQUE SOLANO,
Coordinadora Grupo Laboratorio de
Calidad Ambiental

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada **dos años**.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia			
	SUBDIRECCION DE HIDROLOGÍA – GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0155	Fecha: 04/06/2007	Versión: 02	Página: 4 de 8
HIDROCARBUROS (HC) EN AGUAS POR EXTRACCION SOXHLET Ó LIQUIDO-LIQUIDO Y GRAVIMETRIA				

La manipulación inexacta del analito no permite emplear un estándar de control de concentración constante. Para el control del método se debe realizar el tratamiento de dos (2) estándares (preparados como indica en el numeral 9.2 de este procedimiento), uno de aceite mineral que permita determinar la recuperación del método y otro de aceite vegetal para determinar la eficiencia de remoción de la sílica gel. El porcentaje de recuperación debe oscilar entre 74 y 126% y el de remoción entre 96.4 y 103.6%.

Los ensayos realizados durante la estandarización se encuentran consignados en las carpetas CV0272 y CV0309.

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de hidrocarburos es la misma para grasas y aceites, realizar la toma de muestra según se indica a continuación:

- La toma de muestra se debe ser de tipo puntual, directamente del vertimiento y evitando llenar totalmente el frasco.
- Tome una muestra representativa directamente en una botella de vidrio de boca ancha de un litro previamente enjuagada con el solvente para remover cualquier película de detergente.
- La tapa debe estar provista de una lámina de papel aluminio que impida el contacto de la muestra con la parte interna de la tapa.
- La muestra se debe tomar en frasco de vidrio de boca ancha con capacidad máxima de un litro y evitando subdividir la muestra en el laboratorio, marque el nivel en el frasco para posterior determinación del volumen de muestra.
- Preserve las muestras con HCl o H₂SO₄ concentrado a pH < 2, con el fin de romper las emulsiones e hidrolizar los jabones y detergentes, los cuales pierden su componente polar y revirtiéndose a una estructura hidrocarbonada que es incluida en la determinación.
- Cuando se requiere información acerca del promedio de concentración de hidrocarburos sobre un periodo de tiempo extenso, analizar porciones individuales tomadas a intervalos de tiempo predeterminados, esta muestra no se puede componer.
- La muestra preservada se puede almacenar durante un periodo máximo de 28 días a una temperatura de 4°C

7. APARATOS, REACTIVOS Y MATERIALES

7.1 Aparatos

- Equipo extractor BÜCHI B-810, consultar manual del equipo.
- Desecador grande.
- Agitador magnético

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA – GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0155	Fecha: 04/06/2007	Versión: 02	Página: 5 de 8
HIDROCARBUROS (HC) EN AGUAS POR EXTRACCIÓN SOXHLET Ó LIQUIDO-LIQUIDO Y GRAVIMETRIA				

- Balanza analítica clase III (cuatro cifras decimales)
- Rotavapor

7.2 Reactivos

- n-Hexano, C₆H₁₂, punto de ebullición 69°C, libre de residuos. **(NO EMPLEAR MEZCLA DE SOLVENTES)**
- Acido clorhídrico, HCl ó Acido sulfúrico, H₂SO₄ concentrado.
- Aceite de origen vegetal y/o mineral
- Sílica gel 60. Secar a 110°C durante 24 horas y guardar en envase sellado herméticamente, en el desecador.

7.3 Materiales

- Barra agitadora magnética, recubierta en TFE.
- Embudos de vidrio.
- Papel de filtro, de 11 cm de diámetro cuantitativo (Whatman N° 40 o equivalente)
- Papel aluminio.
- Vaso de precipitado de 50 mL
- Varilla de Vidrio

8. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE VIDRIERÍA

El material debe estar libre de grasa. Lavar con detergente y enjuagar con abundante agua caliente. Si el material lo requiere, realizar un enjuague con solvente. Consultar procedimiento de lavado de material TP0125.

9. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES Y BLANCO

9.1 Blanco

Tome 1 litro de agua destilada y acidifíquela con H₂SO₄ o HCl a pH < de 2 (aproximadamente 2 gotas)

9.2 Estándares de control

Pese y tare un vaso de precipitado de 50 mL, adicione dos (2) gotas de aceite mineral medido con pipeta Pasteur, registre el peso en el formato TF 0067 de captura de datos. Adicione aproximadamente 20 mL de agua y 2 gotas de ácido H₂SO₄ o HCl a pH < de 2.

 IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia			
	SUBDIRECCION DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0155	Fecha: 04/06/2007	Versión: 02	Página: 6 de 8
HIDROCARBUROS (HC) EN AGUAS POR EXTRACCION SOXHLET Ó LIQUIDO-LIQUIDO Y GRAVIMETRIA				

10. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Solicite las muestras a analizar diligenciando el formato FT0061 y realice la extracción de Grasas y Aceites por algunos de los métodos estandarizados del laboratorio (TP0150 o TP0322).

Si solo se requiere el análisis de hidrocarburos, extraer la grasa y el aceite sin cuantificar.

11. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

11.1 Procesamiento de la muestra

Si en la determinación de grasas y aceites se determina que el resultado es inferior al límite de cuantificación del método, no continuar con la determinación de hidrocarburos y reportar como "menor de"

- Redissolver el extracto obtenido en GYA en 100 mL de n-hexano
- Adicione 3,0 g de silica gel por cada 100 mg de material graso.
- Tape el recipiente con papel aluminio.
- Agite con barra magnética durante 5 minutos.
- Filtre la solución a través de un papel filtro pre-humedecido con solvente, el filtrado se recolecta en los vasos extractores de grasas y aceites previamente desecados por 30 minutos y pesados. Anote este valor en el formato de captura de datos FT0067, en la casilla correspondiente al PESO 1ª TARA.
- Lave la silica gel y el papel con 10 mL de solvente, y combine con el filtrado.
- Destile el solvente hasta sequedad total del vaso.
- Deje enfriar el vaso de extracción.
- Lleve al desecador durante una y pese.
- Registre el peso final del analito en el formato de captura de datos en la casilla PESO FINAL 1.

12. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CÁLCULO DE RESULTADOS

Si el solvente orgánico está libre de residuos, el aumento en peso del vaso de extracción tarado es debido principalmente a los hidrocarburos (HC), siendo el contenido de estos:

$$HC, mg / L = \frac{(Pf - Pi)}{V}$$

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia			
	SUBDIRECCION DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0155	Fecha: 04/06/2007	Versión: 02	Página: 7 de 8
HIDROCARBUROS (HC) EN AGUAS POR EXTRACCION SOXHLET Ó LIQUIDO-LIQUIDO Y GRAVIMETRIA				

Donde;

Pf = peso final del matraz de extracción, mg.
 Pi = peso inicial del matraz de extracción, mg.
 V = Volumen de muestra, L

$$\%RECUPERACION = \frac{(P_{afin} - P_{vaso}) * 100}{Peso_{aini}}$$

Donde:

PTotal = peso vaso con grasa obtenido después de la extracción
 Pvaso= Peso del vaso de extracción vacío.
 Paini = peso de aceite para la preparación del estándar.

13. CONTROL DE CALIDAD (CC) Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

En forma paralela, con cada grupo o lote de muestras que se procese en un mismo día, extraer un estándar de aceite mineral y vegetal, preparados como está descrito en el numeral 9.2 de éste PSO. Si los resultados de estos controles están dentro del NIVEL DE CONTROL, Registre los porcentajes de recuperación y remoción en la CARTA DE CONTROL del método. Grafique el resultado obtenido para cada estándar contra la fecha en que se corrió.

Los porcentajes de remoción de los estándares de aceite vegetal deben ser bajos ya que son absorbidos por la silica gel.

Los blancos se analizan para determinar si la calidad del material y de los reactivos es óptima. Estos deben registrar pesos menores al limite de detección. Si el valor de los blancos supera el limite del método se recomienda lavar el material, el equipo de destilación y verificar el solvente. Si el solvente se ha destilado realizar la nuevamente este procedimiento.

Verifique los estándares de control, si el resultado analítico cae fuera de los limites de control normales, deben revisarse el procedimiento de filtración, análisis o el analito de control.

Dos veces al año se analizan muestras ciegas, de muestras certificadas internacionalmente que permiten evaluar la reproducibilidad, precisión y exactitud interlaboratorios.

Lleve los registros de los porcentajes de recuperación y remoción de los estándares en la carta de control para la determinación de Hidrocarburos. Registre las iniciales del analista y la fecha de análisis en las casillas correspondientes y grafique el valor de cada estándar.

ANEXO B
ÍNDICE DE PRECIO AL CONSUMIDOR HISTÓRICO

MES	IPC - 2014	IPC - 2015	IPC - 2016	IPC - 2017	IPC - 2018	IPC - 2019	IPC - 2020	IPC - 2021	IPC - 2022
Enero	104,28	106,66	114,54	120,69	126,87	133,05	139,23	145,41	151,59
Febrero	104,47	107,88	115,40	121,21	127,39	133,57	139,75	145,93	152,11
Marzo	104,91	108,54	116,55	121,72	127,90	134,08	140,26	146,44	152,62
Abril	105,13	108,95	117,19	122,24	128,42	134,60	140,78	146,96	153,14
Mayo	105,35	109,28	117,89	122,75	128,93	135,11	141,29	147,47	153,65
Junio	105,41	109,81	118,48	123,27	129,45	135,63	141,81	147,99	154,17
Julio	105,29	110,23	118,90	123,78	129,96	136,14	142,32	148,50	154,68
Agosto	105,34	110,85	119,20	124,30	130,48	136,66	142,84	149,02	155,20
Septiembre	105,44	111,65	118,63	124,81	130,99	137,17	143,35	149,53	155,71
Octubre	105,60	112,37	119,15	125,33	131,51	137,69	143,87	150,05	156,23
Noviembre	105,76	113,08	119,66	125,84	132,02	138,20	144,38	150,56	156,74
Diciembre	106,20	113,73	120,18	126,36	132,54	138,72	144,90	151,08	157,26

ANEXO C CARACTERÍSTICAS TANQUES AJOVER

SOLO TEJAS

Linea De Tanques

Tanques Ajoover

Datos Técnicos

Dimensiones tanques multiusos:

EN TODAS LAS CAPACIDADES, LOS TANQUES PUEDEN SER DE COLOR AZUL O NEGRO



Tanques Multiusos, los pesos en kg incluyen la tapa.

Tanques Multiusos Uní copa					Tanques Multiusos Doble copa				
Capacidad	Altura (A)	Diámetro (B)	Diámetro (C)	Peso (kg)	Capacidad	Altura (A)	Diámetro (B)	Diámetro (C)	Peso (kg)
250 L.	76 cm	84 cm	58 cm	8	250 L.	76 cm	84 cm	58 cm	8
500 L.	85 cm	106 cm	72 cm	12.1	500 L.	85 cm	106 cm	72 cm	12.1
1.000 L.	106 cm	130 cm	96 cm	22.8	1.000 L.	106 cm	130 cm	96 cm	22.8
1.500 L.	119 cm	145 cm	110 cm	38.1	1.500 L.	119 cm	145 cm	110 cm	38.1
2.000 L.	141 cm	158 cm	125 cm	46.4	2.000 L.	141 cm	158 cm	125 cm	46.4
3.000 L.	146 cm	186 cm	147 cm	72.3	3.000 L.	146 cm	186 cm	147 cm	72.3
5.000 L.	174 cm	228 cm	175 cm	113.6	5.000 L.	174 cm	228 cm	175 cm	113.6

Características

Dimensiones tanques bajos:

EN TODAS LAS CAPACIDADES, LOS TANQUES PUEDEN SER DE COLOR AZUL O NEGRO



Tanques Bajos, los pesos en kg no incluyen la tapa.

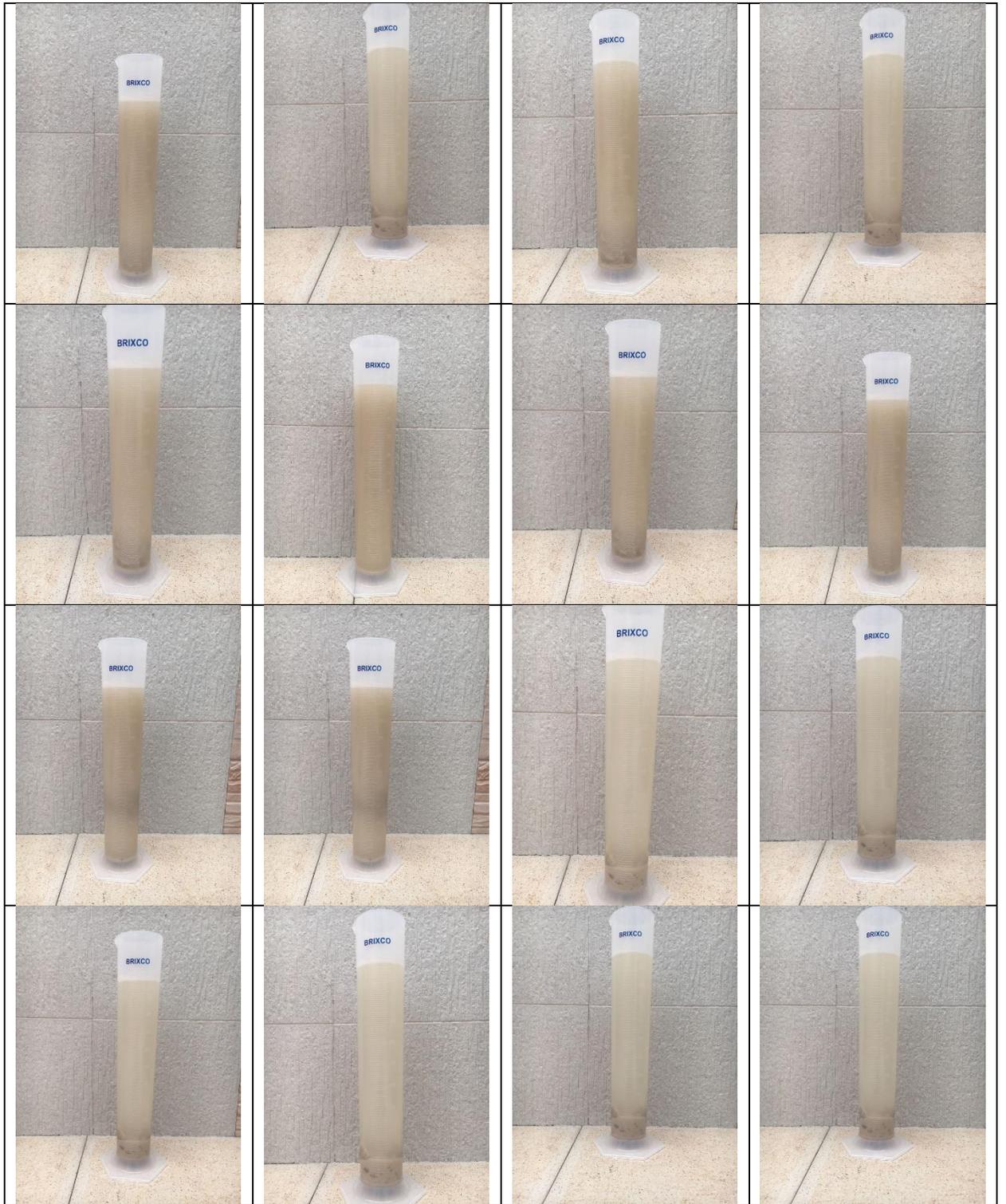
Tanques Bajos				
Capacidad	Altura (A)	Diámetro (B)	Diámetro (C)	Peso (kg)
250 L.	47 cm	90 cm	70 cm	8.7
500 L.	58 cm	116.5 cm	100 cm	14.7

CALL-CENTER

605 5000

Solo Tejas Suba: **688 2500** Solo Tejas Prado: **648 0275**
Solo Drywall: **605 1212**
Visitanos En Internet: www.solotejas.com

ANEXO D ENSAYO VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN





 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código: 6091173
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Abril - 2017

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Brendy Zulay Ariza Alarcón** en calidad de titular(es) de la obra **Propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual industrial en la fábrica R.F.G. BONNY Ltda.**, elaborada en el año 2016, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mí obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código: 6091173
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Abril - 2017

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	x	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	x	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		x

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 16 días del mes de marzo del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Brendy Zulay	Ariza Alarcón
Documento de identificación No	Firma
1026278422	Brendy Ariza