

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL  
AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA PTAR DEL FRIGORÍFICO BLE LTDA.

MARIA PAULA MATEUS TRASLAVIÑA  
IVONNE ANDREA POVEDA GARCIA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2.016

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL  
AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA PTAR DEL FRIGORÍFICO BLE LTDA

MARIA PAULA MATEUS TRASLAVIÑA  
IVONNE ANDREA POVEDA GARCIA

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO

Diego Felipe Lozano López  
Ingeniero Ambiental

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2.016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Diana Patricia Rey González  
Presidente del Jurado

---

Ing. Juan Carlos Segura  
Jurado 1

---

Ing. Edgar Fernando Moreno Torres  
Jurado 2

Bogotá; Agosto de 2016

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo De Jesús Herrera Gutiérrez

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

Este trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para llevar a cabo mis proyectos, a mi familia por el apoyo incondicional en todo momento en especial a mis padres por hacer de mi la persona que soy hoy, a mi novio Nicolás Sotomayor Sánchez por ser esa persona que llego a mi vida para cambiarla, a mi hija por ser un motivo más para culminar esta etapa y luchar cada día más

María Paula Mateus Traslaviña

Este trabajo lo dedico a la energía del universo por permitirme llegar a este punto en mi proyecto de vida y poner a las personas adecuadas en mi camino , a mis padres por su amor incondicional porque sin su apoyo esto no sería posible, a mi madre , la luz de mi vida, el ángel de mi guarda y mi gran motivación, a mi padre por enseñarme que en la vida los guerreros que perseveran siempre vencen , a mis hermanas Caro y Dani , por ser mis amigas y mis cómplices , a mi abuelo por todos sus sabios consejos, a mi familia que siempre ha creído en lo que puedo lograr , a mis amigos que son como hermanos quienes han estado en los momentos difíciles para apoyarme.

Ivonne Andrea Poveda García

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Nuestros familiares y amigos cercanos quienes estuvieron en la evolución de este proyecto y de esta etapa de formación profesional.

La doctora Lyda Amparo Mateus Amado Coordinadora de calidad en la empresa Frigoríficos BLE LTDA, por su gestión para la realización de este proyecto dentro de la compañía.

La empresa Frigoríficos BLE LTDA por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo de grado en sus instalaciones, usar sus equipos y tener su total apoyo para el desarrollo.

Al ingeniero ambiental Diego Lozano por toda su gestión dentro de la compañía.

La ingeniera química Diana Rey por sus consejos y apuntes para mejorar este proyecto y direccionarlo de la mejor manera.

La docente e ingeniera química Nubia Becerra por sus conocimientos, su disposición y su inmensa vocación.

El docente e ingeniero Mario Ortiz por su disposición y buena voluntad.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	22
OBJETIVOS	23
1. MARCO DE REFERENCIA	24
1.1 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	24
1.2 FRIGORIFICOS	24
1.3 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS INDUSTRIALES	25
1.3.1 Pre tratamiento.	26
1.3.2 Tratamiento primario.	26
1.3.3 Tratamiento secundario.	26
1.3.4 Tratamiento terciario.	26
1.4 LOS FRIGORÍFICOS Y SU OPERACIÓN	28
2. DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES DE PROCESO Y CARACTERÍSTICAS DE AGUA RESIDUAL Y POTABLE EMPLEADA EN EL FRIGORIFICOS BLE LTDA POR MEDIO DE UN BALANCE HÍDRICO	31
2.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA	31
2.1.1 Planta de beneficio.	32
2.1.2 Actividades de sacrificio.	33
2.2 DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DENTRO DEL FRIGORÍFICO	36
2.3 PLANTA DE AGUA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	37
2.3.1 Consumo total diario de la planta de tratamiento de agua potable en todo el proceso de sacrificio.	44
2.3.2 Consumo de agua para proceso de lavado de plantas de sacrificio de la planta de tratamiento de agua potable.	45
2.3.3 Consumo de agua de la planta de tratamiento de agua potable para lavado de corrales bovinos.	45
2.4 CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA RED DE ALCANTARILLADO	45
2.4.1 Consumo de agua potable para uso doméstico y administrativo.	45
2.4.2 Consumo de agua potable para aseo del hipercento de carnes.	46
2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL Y DOMÉSTICA	47
2.5.1 Falencias presentadas en el proceso actual de tratamiento de agua residual.	64
2.5.2 Posibles mejoras a tener en cuenta para mejorar la eficiencia de tratamiento de la PTAR existente.	65
2.6 CONCLUSIÓN DEL DIGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	65

3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA EL PROCESO DE REÚSO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ACTUAL.	67
3.1 CONSIDERACIONES INICIALES	67
3.1.1 Norma legal vigente.	67
3.2 TRATAMIENTOS DE TIPO TERCIARIO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL COMO AGUA DE MANTENIMIENTO	71
3.3 PROPUESTAS PARA LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL Y DOMÉSTICA (EFLUENTE DE LA PTAR).	75
3.3.1 Primera propuesta.	75
3.3.2 Segunda propuesta.	79
3.3.3 Tercera propuesta.	81
3.4 COMPARACIÓN DE LAS PROPUESTAS	84
3.4.1 Análisis de los cálculos realizados para las propuestas.	87
4. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA, SEGÚN MATRIZ DE SELECCIÓN	89
4.1 ASPECTOS TÉCNICOS	90
4.1.1 Eficiencia de remoción.	90
4.1.2 Disponibilidad de equipos.	90
4.1.3 Gasto energético.	90
4.1.4 Requerimiento de área.	90
4.1.5 Vida útil.	91
4.2 ASPECTO COMERCIAL LEGAL	91
4.2.1 Costo de inversión.	91
4.2.2 Costo de mantenimiento.	91
5. EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA POR MEDIO DE UN DESARROLLO EXPERIMENTAL.	94
5.1 PRUEBAS PREELIMINARES	94
5.1.1 Test de jarras..	94
5.1.2 Alternativa 2.	96
5.1.3 Alternativa 3.	99
5.1.4 Análisis de las pruebas preliminares.	103
5.2 EFICIENCIA EXPERIMENTAL DE LOS FILTROS	104
5.3 DEMANDA DE CLORO	105
5.3.1 Alternativa 2.	106
5.3.2 Alternativa 3.	107
5.4 DESARROLLO EXPERIMENTA	108
5.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO	109
6. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	114
6.1 COSTO DE INVERSIÓN	117
6.2 COSTOS DE OPERACIÓN	119

7. CONCLUSIONES	121
8. RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFIA	123
ANEXOS	128

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de plantas de beneficio	32
Tabla 2. Capacidad máxima de operación plantas de sacrificio	33
Tabla 3. Aporte de carga contaminante diaria de cada uno de los procesos de sacrificio.	59
Tabla 4. Valores de los parámetros del afluente y efluente de la PTAR comparados con el decreto 0631	61
Tabla 5. Evaluación de la carga contaminante de la PTAR	62
Tabla 6. Valores químicos máximos permisibles para el consumo de agua humano comparables con el efluente de la planta de tratamiento de agua residual.	70
Tabla 7. Remoción teórica por etapas de la primera alternativa propuesta	77
Tabla 8. Remoción teórica por etapas de la segunda alternativa propuesta.	80
Tabla 9. Referencias específicas de las publicaciones para porcentajes teóricos	81
Tabla 10. Remoción teórica por etapas de la tercera alternativa propuesta	83
Tabla 11. Porcentaje de remoción teórico de cada alternativa	84
Tabla 12. Rango de calificación de criterios	89
Tabla 13. Rangos de calificación de criterios de cada alternativa aspectos técnicos.	91
Tabla 14. Rangos de calificación de criterios de acuerdo cada alternativa aspectos comercial.	92
Tabla 15. Matriz de selección	92
Tabla 16. Condiciones primera experimentación	95
Tabla 17. Altura definida de los lechos filtrantes para la alternativa 2	98
Tabla 18. Altura definida de los lechos filtrantes para la alternativa 3	102
Tabla 19. Eficiencia de los lechos filtrantes de la Alternativa 2	104
Tabla 20. Eficiencia de los lechos filtrantes de la Alternativa 3	104
Tabla 21. Concentración de cloro para cada alternativa	108
Tabla 22. Comparación de los parámetros obtenidos de la Alternativa 2 y 3 con los parámetros del efluente de la PTAR.	110
Tabla 23. Comparación de los parámetros teóricos con los experimentales	113
Tabla 24. Variables grado de afectación	115
Tabla 25. Factores agravantes y atenuantes	117
Tabla 26. Costos de inversión	118
Tabla 27. Costo mano de obra.	119
Tabla 28. Costo total	119
Tabla 29. Prueba test de jarras con arena silíceo	134
Tabla 30. Prueba test de jarras con zeolita	134
Tabla 31. Prueba test de jarras con zeolita	134
Tabla 32. Prueba test de jarras con carbón activado	135
Tabla 33. Resultado filtro de arena	136

Tabla 34. Resultado filtro de carbón activado	136
Tabla 35. Resultado filtro de antracita	136
Tabla 36. Resultado filtro de resina	137
Tabla 37. Resultado filtro de Zeolita	137
Tabla 38. Resultado filtro de arena 1	137
Tabla 39. Resultado filtro de arena 2	137
Tabla 40. Resultado filtro de carbón activado 1	138
Tabla 41. Resultado filtro de carbón activado 2	138

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Carga contaminante kg/día vs variable	63
Gráfica 2. Caudal vs Tiempo	63
Gráfica 3. Remoción teórica de DBO	85
Gráfica 4. Remoción teórica de DQO	85
Gráfica 5. Remoción teórica de Sólidos Suspendidos Totales	86
Gráfica 6. Remoción teórica de turbiedad	86
Gráfica 7. Remoción teórica de carga microbiológica	87
Gráfica 8. Altura lecho de arena silíceo vs turbidez (Etapa 1)	97
Gráfica 9. Altura lecho de carbón activado vs Turbidez. (Etapa2)	97
Gráfica 10. Altura lecho de carbón activado vs Turbidez. (Etapa3)	98
Gráfica 11. Altura lecho de carbón activado vs Turbidez. (Etapa4)	98
Gráfica 12. Altura lecho de zeolita vs Turbidez. (Etapa 1)	100
Gráfica 13. Altura lecho de arena silíceo 1 vs Turbidez. (Etapa2)	100
Gráfica 14. Altura lecho de arena silíceo 2 vs Turbidez. (Etapa 3)	101
Gráfica 15. Altura lecho de carbón activado 1 vs Turbidez. (Etapa 4)	101
Gráfica 16. Altura lecho de carbón activado 1 vs Turbidez. (Etapa 4)	102
Gráfica 17. Curva de cloro alternativa 2	107
Gráfica 18. Curva de cloro alternativa 3	107
Gráfica 19. Comparación de parámetros de la PTAR con los resultados obtenidos de las alternativas 2 y 3	111
Gráfica 20. Comparación de iones disueltos de la PTAR con los resultados obtenidos de las alternativas 2 y 3	112
Gráfica 21. Comparación de turbidez de la PTAR Con los resultados obtenidos de la alternativa 2 y 3	112

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Descripción del proceso de sacrificio de bovinos	33
Diagrama 2. Descripción del proceso de sacrificio	35
Diagrama 3. Consumo de agua en el frigorífico BLE LTDA	36
Diagrama 4.flujo de procesos de PTAP	38
Diagrama 5. Flujo de procesos de la PTAR	48
Diagrama 6. Balance de masa de sólidos suspendidos totales de laguna de estabilizacion	59
Diagrama 7. primera propuesta para tratamiento de agua residual.	77
Diagrama 8.segunda propuesta para el tratamiento del agua residual	80
Diagrama 9.tercera propuesta para tratamiento de agua residual.	83

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Estructura general de una PTAR	25
Imagen 2. Ubicación frigorífico BLE LTDA	31
Imagen 3. Torre de aireación	40
Imagen 4. Tanque de sedimentacion	41
Imagen 5. Tanque de pulmón	41
Imagen 6. Tanque de almacenamiento agua potable	42
Imagen 7. Canal de entrada	49
Imagen 8. Tamices	50
Imagen 9. Sedimentador Primario	51
Imagen 10. Tanque homogenizador	52
Imagen 11. Canaleta Parshall	53
Imagen 12. Estructura de mezcla rápida y lenta	54
Imagen 13. unidad DAF	55
Imagen 14. Sedimentador secundario.	56
Imagen 15. Primera Laguna de estabilizacion	58
Imagen 16. Tercera Laguna de estabilización	58
Imagen 18. Pruebas preliminares alternativa 2	96
Imagen 19. Pruebas preliminares alternativa 3	99
Imagen 20. Resultados pruebas preliminares alternativa 2 y 3	103
Imagen 21. Escala de colores en la prueba de cloro residual	106
Imagen 22. Montaje completo de la Alternativa 2	108
Imagen 23. Montaje completo de la alternativa 3	109
Imagen 24. Resultado de las alternativas	109

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Consumo aguapotable 1.	45
Ecuación 2. Consumo aguapotable 2.	45
Ecuación 3. Consumo agua potable corrales	45
Ecuación 4. Consumo agua potable 4	45
Ecuación 5. Consumo de agua potable 5	46
Ecuación 6. Caudal Total agua potable	46
Ecuación 7. Caudal total de entrada a la PTAR	46
Ecuación 8. Carga máxima contenido ruminal	47
Ecuación 9. Eficiencia	62
Ecuación 10. Remoción Teórica.	84
Ecuación 11. Eficiencia de cada filtro	104
Ecuación 12. Modelo matemático para hallar el valor de la multa	114
Ecuación 13. Beneficio ilícito	115
Ecuación 14. Ponderado de agravantes y atenuantes	116
Ecuación 15. Grado de afectación ambiental	116
Ecuación 16. Relación costo beneficio	120

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Calculos de remocion teorica para la alternativa 1	128
Anexo B. Productoria matriz de selección	133
Anexo C. Resultados pruebas preeliminares test de jarras	134
Anexo D. Resultados pruebas preeliminares filtros	136
Anexo E. Resultados de laboratorio	139
Anexo F. Cotización materiales filtrantes y equipos	141

## GLOSARIO

**AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES:** las aguas residuales industriales por su procedencia son aguas más contaminadas que las aguas domésticas por tal motivo su tratamiento es más complejo. Para este proyecto el término aguas residuales hace referencia a las aguas que salen de un proceso de sacrificio de los animales porcinos y bovinos, de los que procede materia orgánica (pelos , sangre , grasa , por ende varios sólidos en suspensión , además de elementos patógenos), además del agua de servicio de la compañía (mantenimiento , lavado y uso doméstico ).

**CONTENIDO RUMINAL:** También conocido como “ruminaza” es un subproducto originado del sacrificio de animales, se obtiene a partir de todo el material que no alcanzó a ser digerido. Posee una gran cantidad de flora, fauna microbiana y productos de la fermentación ruminal, por esto se puede decir que es una alternativa para la alimentación de rumiantes, pollos y cerdos de engorde, por sus características químicas, biológicas, bromatológicas y su amplia disponibilidad

**COLOR:** es la característica que tiene el agua a ser capaz de absorber radiación del espectro no visible, no es posible indicar a que los constituye, aunque ciertos colores reflejan la presencia de algún contaminante en especial<sup>1</sup>.

**DBO:** es la demanda bioquímica de oxígeno permita conocer la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en el agua, en aguas residuales esta demanda es el resultado de tres tipo de compuestos los cuales son materiales orgánicos carbónicos, que son utilizados por microorganismos para alimentarse; nitrógeno oxidable derivados de compuestos nitrogenados que sirven para la alimentación de ciertas bacterias y por último los compuestos químicos reducidos como lo son ion ferroso, sulfitos, sulfuros que son oxidados por el oxígeno disuelto.

**DQO;** es la demanda química de oxígeno que hace referencia al volumen de este compuesto que se requiere para oxidar la fracción orgánica de cierta muestra que es susceptible a oxidación de ciertos compuesto, generalmente es al dicromato o permanganato en medio ácido<sup>2</sup>.

**FAENADO:** este proceso comprende el transporte, recepción, pesaje, inspección sanitaria ante-mortem, reposo, baño externo y conducción al sacrificio del ganado porcino y bovino.

---

<sup>1</sup> LAPEÑA,Miguel Rigola. Tratamiento De Aguas Industriales: Aguas De Proceso y Residuales. Marcombo, 1989

<sup>2</sup> LAPEÑA,Miguel Rigola. Tratamiento De Aguas Industriales: Aguas De Proceso y Residuales. Marcombo, 1989

**FILTRACIÓN:** es la remoción de partículas que se encuentran suspendidas en el agua, haciendo fluir el agua contaminada por un lecho filtrante previamente seleccionado, que permite retener estos contaminantes<sup>3</sup>.

**FUENTE DE CAPTACION DE AGUA POTABLE:** La fuente de captación es el lugar de donde se extrae el recurso hídrico para su posterior tratamiento y uso en las operaciones de la planta, la fuente utilizada es agua de pozo que se extrae a través de una bomba, para el uso dentro del frigorífico.

**GRASAS Y ACEITES:** son sustancia que presenta una naturaleza lípida, las cuales son inmiscibles con el agua lo que conlleva a que estas permanezcan en la superficie generando la aparición de espuma, estas grasas deben eliminarse en las primeras etapas de un tratamiento, ya que dificultan tratamientos físicos y químicos posteriores.

**INTERCAMBIO IÓNICO:** es un intercambio de iones entre dos electrolitos, estos intercambiadores de iones suele realizarse con resinas de intercambio iónico, zeolitas y arcilla, que permiten el intercambio de iones.

**OLORES:** se presentan por la liberación de gases durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, el agua residual presenta un olor característico que se da por la presencia de sulfuros de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de los microorganismos<sup>4</sup>.

**ÓSMOSIS INVERSA:** consiste en separar dos líquidos o fluidos con distintas concentraciones de sales por una membrana semipermeable, en donde existe una diferencia en la concentración y presión, permitiendo que el fluido del lado de menor concentración por medio de osmosis pase al de mayor concentración, por medio de esta tecnología se logra una remoción de contaminantes de alrededor del 99%<sup>5</sup>.

**SACRIFICIO:** Es el conjunto de operaciones que llevan a la obtención de canales limpias y listas para el despiece, incluye la inmovilización e insensibilización, izado del animal por medio de un grillete, corte yugular ,desangrado , deshueso , separación de las partes y repartición de las mismas en rieles respectivos .

---

<sup>3</sup> NORMA OFICIAL MEXICANA y AMBIENTAL,SALUD. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANOLIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". En: NORMA. vol. 24, p. 3

<sup>4</sup> CARVACHO AVACA,Cristian Patricio y LORETO FUENTES PÉREZ,Tania. Diagnóstico Del Funcionamiento De Los Sistemas De Alcantarillados De Aguas Servidas Domésticas, En Las Viviendas Sociales De La Comuna De Lampa, Región Metropolitana. [Electronic(1)]:Chile: B - Universidad de Santiago de Chile, 2007.

<sup>5</sup>IGLESIAS,Manuel Fariñas. Osmosis Inversa: Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones. McGraw-Hill Interamericana de España, 1999.

**TURBIDEZ:** es la alta concentración de compuestos insolubles que se presentan en estado coloidal, en suspensión y partículas finas que impiden que el agua pueda transmitir la luz, se da principalmente en aguas superficiales y son difíciles de decantar y filtrar.

## RESUMEN

Este proyecto está enfocado en el desarrollo de una alternativa para el aprovechamiento del agua residual tratada de la PTAR del frigorífico BLE Ltda. Lo cual involucra el desarrollo de una serie de actividades que comienzan con la recopilación de información sobre la empresa, continúa con la visita a las plantas de tratamiento de agua potable, residual y de sacrificio y la identificación de las etapas de operación de dichas plantas, posteriormente se realiza el análisis de esta información, con el fin de realizar el diagnóstico del agua potable y residual que se genera en la compañía, dentro de este se incluye una comparación de los valores del efluente de la PTAR con las normas de vertimiento actual a cuerpos de agua superficiales, se calcula la eficiencia de la PTAR y se realiza un análisis de las fallas de la planta de tratamiento de agua residual, se plantean unas posibles mejoras, y se describe los consumos de agua dentro de la compañía, finalizada esta parte, se concluye el diagnóstico.

Conociendo las características del agua que se busca reutilizar, se procede a la investigación bibliográfica de alternativas o tratamientos de tipo terciario que permitan el reúso de esta agua, llegando a la conclusión que los métodos de filtración son la mejor opción para el efluente en estudio. De este modo se plantean tres posibles alternativas de tratamiento compuestas por etapas de filtración y por último se selecciona la cloración como etapa de desinfección. Se realiza una matriz de selección para escoger la mejor alternativa, obteniendo con mayor puntaje la alternativa dos y tres, así que estas dos son llevadas a experimentación, obteniendo como la mejor opción la alternativa dos. Determinada la mejor alternativa se realiza un análisis costo beneficio en donde se evalúa el costo de la alternativa contra el costo que pagaría la compañía por incumplir la norma ambiental vigente.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se realiza para proponer un proceso de tratamiento de agua residual ya tratada con el fin de esta pueda reutilizarse en algunas operaciones del frigorífico y con eso reducir el impacto ambiental que genera el vertimiento de la misma al Rio Fucha. El agua es un recurso natural que escasea con el paso del tiempo por tal razón es importante el cuidado del recurso hídrico con la implementación de procesos de reutilización en el sector industrial que actualmente demanda un procesos de reutilización en el sector industrial que actualmente demanda un 9 % del agua en el país, esto equivale a 1180Mm<sup>3</sup> <sup>6</sup> .

Por tal motivo el frigorífico San Martin se ha interesado en investigar sobre la posibilidad de reutilizar el recurso hídrico, para así lograr posicionarse como una empresa amigable con el medio ambiente y alcanzar certificaciones a nivel mundial en el marco ambiental.

El desarrollo de este proyecto requiere del diagnóstico de las plantas de tratamiento que existen actualmente (PTAP Y PTAR), la investigación y proposición de una alternativa viable y eficiente para el reuso del efluente de la PTAR del frigorífico como agua de mantenimiento con la mejor calidad posible , incluyendo toda la evaluación experimental para determinar parámetros fisicoquímicos decisivos .

---

<sup>6</sup> CALLE,E. Domínguez, et al. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. En: REV. ACAD.COLOMB. CIENCIA. vol. 32, no. 123, p. 195-212

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una alternativa para el aprovechamiento del agua residual tratada de la PTAR de FRIGORÍFICOS BLE LTDA.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar las condiciones de proceso y características de agua residual y potable (balance hídrico) empleada en FRIGORÍFICOS BLE LTDA.
- Seleccionar la alternativa de tratamiento para reutilización del agua
- Evaluar la alternativa seleccionada por medio de un desarrollo experimental.
- Realizar el análisis costo-beneficio de la alternativa seleccionada.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

Las actividades de sacrificio que se realizan en los frigoríficos, generan aguas residuales industriales con alta carga contaminante, que en su gran mayoría es materia orgánica, por tal razón, las plantas de beneficio, buscan mitigar estos contaminantes por medio de plantas de tratamiento de aguas residuales para esto, los frigoríficos han desarrollado un plan de manejo ambiental con el fin de reducir la contaminación que generan sus residuos, a continuación se describe que son las aguas residuales industriales, la función de un frigorífico y su plan de manejo ambiental.

### 1.1 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Son todas aquellas que proceden de una actividad industrial en donde se requiere agua, para llevar a cabo una transformación o producción, incluyendo líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración. Las aguas de proceso son aquellas que provienen luego de utilizar el agua ya sea para lavado, medio de transporte y que se pueda contaminar, mientras es utilizada en este proceso presentan grados de contaminación menores al 10% en comparación con los líquidos residuales pero son en volumen 10 a 50 veces mayores. Las aguas de refrigeración no se encuentran en contacto con productos que las puedan contaminar por lo tanto su contaminación se mide por la temperatura.<sup>7</sup>

### 1.2 FRIGORIFICOS

Los frigoríficos tienen como función la producción de carne de una manera higiénica, estableciendo las etapas y operaciones requeridas para este fin dividiendo estas etapas en operaciones limpias y sucias, definiendo una brecha estricta entre estas para garantizar la inocuidad del producto.

Cuadro 1. Contaminantes presentes en las aguas residuales de un frigorífico

PARAMETRO	PRINCIPAL FUENTE
Materia orgánica	Sangre, agua de escaldado, estiércol, contenidos estomacales
Sólidos en suspensión	Estiércol, contenidos estomacales, pelos, restos carne
Aceites y grasas	Agua de escaldado, lavado canales
Amonio y urea	Estiércol, sangre
Fosfatos, nitrógeno y sales	Estiércol, contenido estomacal, sangre, productos detergentes y desinfectantes

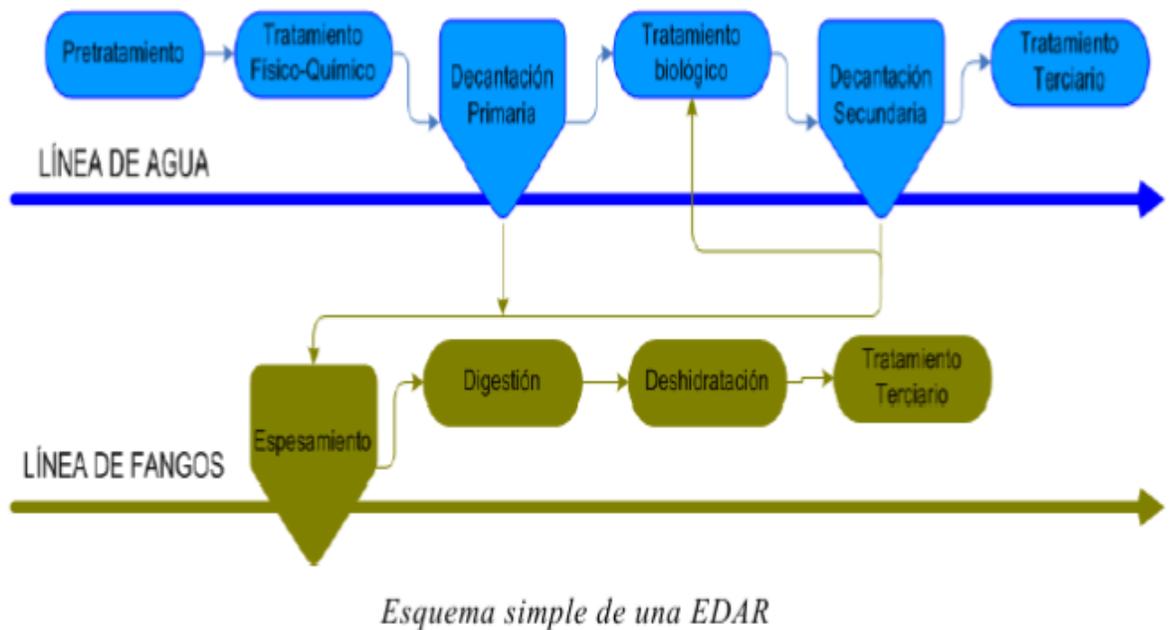
Fuente:[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf)

<sup>7</sup> Wiki. Ingeniería De Aguas Residuales. Wiki, 2000.

### 1.3 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS INDUSTRIALES

Para mitigar este tipo de contaminación existes tratamiento de aguas industriales, especializados para cada industria para el tratamiento del efluente de un matadero se diseña la plata con el fin de reducir factores como DBO5, aceites y grasas, sólidos suspendidos, DQO y microorganismos patógenos, en algunos casos compuestos nitrogenados y fosforados. Para esto generalmente las etapas del tratamiento son un pre tratamiento, seguido por un tratamiento primario y secundario incluso alcanza a llevar un tratamiento terciario a estas instalaciones se les conoce como PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) o EDAR (estación depuradora de aguas residuales) <sup>8</sup>. En la siguiente imagen se evidencia la estructura general de una PTAR ó EDAR.

Imagen 1. Estructura general de una PTAR



*Esquema simple de una EDAR*

Fuente: WIKI, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES , disponible en < <http://site.ebrary.com/lib/biblioamericasp/reader.action?docID=10179597&ppg=1>>, consultado el 2 de Febrero del 2016{{64 Wiki 2000;}}

<sup>8</sup> Wiki. Ingeniería De Aguas Residuales. Wiki, 2000.

1.3.1 Pre tratamiento. Con el pre tratamiento lo que se busca es separar el agua por procesos físicos y mecánicos de materiales por su carácter natural (grasas, aceites) o por su tamaño (ramas, pelos), este es el la primera etapa de un tratamiento, ya que si estos materiales no son eliminados en la primera etapa pueden producir daños graves en los siguientes equipos, y con esto dañar el funcionamiento de la planta.

Generalmente esta operación unitaria está compuesto por rejas, estas poseen aberturas de tamaño uniforme donde se retiene las partículas grandes del efluente del proceso, generalmente el paso libre para sólidos gruesos es de 50 a 100 mm y para sólidos finos 12 a 20 mm. Para diseñarlas se tienen en cuenta los parámetros como el tipo de flujo de descarga, los residuos a tratar, volumen de sólidos.<sup>9</sup>  
Trampas de grasas: su función es separar la grasa del agua enviándolas a la superficie

1.3.2 Tratamiento primario. Este tratamiento se realiza con el fin de eliminar la mayor cantidad de sólidos suspendidos por medio de procesos físicos y químicos dentro de los cuales tenemos.

Tanque homogeneizador: en este tanque lo que se busca es igualar caudales, pH, temperatura para generar un efluente de carácter uniforme que se pueda tratar en las siguiente etapas de la PTAR.

Flotación: se utiliza para remover sólidos suspendidos y grasas, se puede realizar con aire disuelto, la eficiencia de este proceso aumento a l agregar un floculante y coagulante, ya que esto permite que se aglomeren las partículas más que pequeñas y sea más fácil su separación del agua.

1.3.3 Tratamiento secundario. Con este tratamiento lo que se busca es reducir al máximo la materia orgánica biodegradable que aún está presente en el residuo líquido, se basa en la oxidación biológica de los sólidos, dentro de estos tratamientos se tienen:

Tratamiento anaeróbico: este tratamiento puede realizarse en lagunas o en reactores cerrados,

Tratamiento aeróbico: dentro de este tratamiento se encuentran lodos activados,

1.3.4 Tratamiento terciario. Este tipo de tratamiento se aplica cuando se busca una recuperación de agua residual para darle otro fin, teniendo como objetivo principal la eliminación de compuestos como materiales tóxicos, materia orgánica y sólidos suspendidos generalmente se aplican los siguientes procesos.

---

<sup>9</sup> Wiki. Ingeniería De Aguas Residuales. Wiki, 2000.

Microfiltración: Funciona con el mismo principio de filtración, el agua se hace pasar a través de poros, esta operación funciona en un rango de presión menor a 5 atmósferas, esta operación retira sólidos suspendidos, componentes emulsionados, bacterias y protozoos<sup>10</sup>. Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1–10  $\mu\text{m}$ . Por tener una porosidad tan pequeña, estos filtros tienen la ventaja adicional de retener bacterias y virus, a pesar de que los virus son más pequeños que los poros de la membrana de microfiltración. Esto es porque los virus se pueden acoplar a las bacterias.

Ultrafiltración: Este proceso de separación con membrana funciona a una presión entre 2-8 atm. Está en la capacidad de retener macromoléculas con masas molares entre 5000 y 100000 (en función del tamaño de poro)

Ósmosis inversa: Es una tecnología de purificación de agua, en la que se logra un elevado porcentaje de retención de contaminantes (hasta 99%), ocurre cuando dos líquidos o fluidos con distinta concentración de sales están separados por una membrana semipermeable, hay diferencia de concentraciones y de presión, se denomina osmótica por que el fluido se mueve del lado de menor concentración al de mayor concentración <sup>11</sup> .

Intercambio iónico: Consiste en el intercambio de iones a partir de dos electrolitos, para tal fin se utilizan sólidos de carácter polimérico o minerales, los intercambiadores de iones contienen resinas, zeolitas y arcilla, que se encargan de realizar el intercambio de iones, estos materiales son insolubles, con cationes o aniones intercambiables, en su superficie externa e interna.

Adsorción con carbón activado: El carbón activado es ampliamente utilizado como absorbente de gases, vapores y solutos en disolución, su porosidad lo hacen un descontaminante, los átomos de oxígeno y de hidrógeno son componentes esenciales de un carbón activado con buenas propiedades. Es considerado como un tratamiento de refinado y por lo tanto se utiliza al final de los sistemas de tratamiento, especialmente de forma posterior al tratamiento biológico<sup>12</sup>.

Cloración: El cloro y sus derivados son sustancias de tipo oxidante , por ende actúan por mecanismos de oxidación , destruyendo la materia biológica , provocando la ruptura de la pared celular , se debe tener en cuenta el tipo de microorganismo que se quiere eliminar , para este tratamiento deben tenerse en cuenta ; concentración del desinfectante , tiempo de contacto , pH , temperatura , turbidez , compuestos nitrogenados.

---

<sup>10</sup> MANAHAN, STANLEY E. INTRODUCCION A LA QUÍMICA AMBIENTAL./STANLEY E, MANAHAN

<sup>11</sup> IGLESIAS, Manuel Fariñas. Osmosis Inversa: Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones. McGraw-Hill Interamericana de España, 1999.

<sup>12</sup> CASTELLS, Xavier Elías. Reciclaje De Residuos Industriales: Aplicación a La Fabricación De Materiales Para La Construcción. Ediciones Díaz de Santos, 2000.

## 1.4 LOS FRIGORÍFICOS Y SU OPERACIÓN

Según el ministerio de ambiente, los frigoríficos en el país deben implementar programas para el manejo ambiental de sus residuos, ya sea para su aprovechamiento y reducción o buscar un plan para el manejo ambiental que sea llevado a cabo en las instalaciones de la planta con el fin de cumplir los parámetros establecidos por dicha entidad, dando un correcto manejo al proceso de sacrificio y faenado.

Cuadro 2. Instrumentos para el sacrificio y faenado

1. Memorias técnicas, diseños y planos de las instalaciones del matadero y del sistema de tratamiento.
2. Diagrama de flujo del proceso, especificando usos del agua y descargas a cuerpos receptores
3. Manual de operación y mantenimiento de unidades de tratamiento.
4. Horario de sacrificio (cronograma de actividades).
5. Plan de monitores y evaluación de los sistemas de tratamiento; caracterización físico-química y bacteriológica de afluentes y efluentes teniendo en cuenta los siguientes parámetros: caudal, temperatura, grasas y aceites; pH, DBOS; DQO; coliformes totales, coliformes fecales, SAAM (1), sólidos suspendidos y sólidos totales.
6. Manejo y disposición final del estiércol y efluentes de los corrales de reposo del ganado
7. Manejo y disposición final de subproductos del sacrificio (cascos, cuernos, colas, sangre etc.)
8. Manejo y disposición final de pieles.
9. Manejo y disposición final de vísceras y contenidos estomacales.
10. Manejo y disposición de efluentes residuales provenientes del lavado de instalaciones y equipos.
11. Manejo y disposición final de grasas resultantes del proceso.
12. Manejo y disposición final de aguas residuales domésticas.
13. Manejo y disposición final de residuos sólidos generados por la actividad humana.
14. Plan de manejo y control de olores generados en las instalaciones del matadero (barreras de aislamiento).
15. Plan de manejo paisajístico y de repoblación vegetal.
16. Control de artrópodos, roedores, aves carroñeras y personal ajeno a la planta.
17. Plan de educación continua

Fuente: RENÉ ACERO, GUILLERMO RIAÑO, DIEGO CARDONA, EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS FRIGORÍFICOS CÁRNICOS EN COLOMBIA , disponible en <<http://www.unilibre.edu.co/CriterioLibre/images/revistas-19/Criterio-Libre-19-art04.pdf>>, consultado el 10 de Febrero del 2016.

El frigorífico BLE LTDA es uno de los frigoríficos con mayor capacidad en Colombia, clasificándose como una planta de beneficio de exportación Clase I. Trabaja de la mano del medio ambiente para su crecimiento productivo por tal razón ha creado los siguiente programas en materia de gestión ambiental<sup>13</sup>.

Cuadro 3. Gestión ambiental frigorífico BLE.

Programa de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos	Gestión integral de los residuos a partir de la segregación en la fuente, tratamiento, recolección, almacenamiento temporal y disposición final de los residuos peligrosos y no peligrosos generados en las instalaciones.
Programa de Vertimientos de Aguas Residuales	Los vertimientos provenientes de los diferentes procesos productivos y de apoyo mediante la operación de la planta de tratamiento de agua residual, la cual cuenta con sistemas físicos, químicos y biológicos, con los cuales se asegura la remoción de carga contaminante en porcentajes superiores a 95%.
Programa de Tratamiento de Agua Potable	<p>El agua utilizada se extrae de pozo subterráneo, mediante concesión otorgada por la autoridad ambiental, la cual se trata para su potabilización en cumplimiento de estándares de calidad, mediante la operación de la planta de tratamiento de agua potable.</p> <p>Además, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de punta, con una infraestructura vanguardista y un equipo calificado para convertir nuestros residuos sólidos de materia orgánica a humus de la más alta calidad a través de compostaje, con control de humedad y temperatura para que se cultiven los microorganismos pertinentes con la máxima sanidad y eficiencia.</p> <p>Se realiza reforestación, donde se han sembrado más de dos mil plantas de especies nativas. Una premisa ambiental de esta empresa es: “No nos bastamos con cumplir con las normas establecidas por ley, nos interesa ir más allá y lograr una cultura ambiental consciente”.</p>

Fuente: RENÉ ACERO, GUILLERMO RIAÑO, DIEGO CARDONA, EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS FRIGORÍFICOS CÁRNICOS EN COLOMBIA , disponible en <<http://www.unilibre.edu.co/CriterioLibre/images/revistas/19-Criterio-Libre-19-art04.pdf>>, consultado el 10 de Febrero del 2016.

<sup>13</sup> René Acero; Guillermo Riaño y Diego Cardona. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS FRIGORÍFICOS CÁRNICOS EN COLOMBIA. julio- diciembre 1023.vol. 11, no. 19, p. 93-193

Teniendo presente las características de un agua residual y las posibles tratamientos que existen para tratar este tipo de aguas en plantas de tratamiento, los frigoríficos a nivel general deben buscar implementar un plan de manejo ambiental de sus residuos que les garanticen su aprovechamiento y reducción, para así dar cumplimiento a los parámetros establecidos por el ministerio de ambiente, por tal motivo el frigorífico BLE ha implementado un plan de gestión ambiental dentro de sus instalaciones y se ha interesado en mejorar, dicho plan para ser una compañía amigable con el medio ambiente.

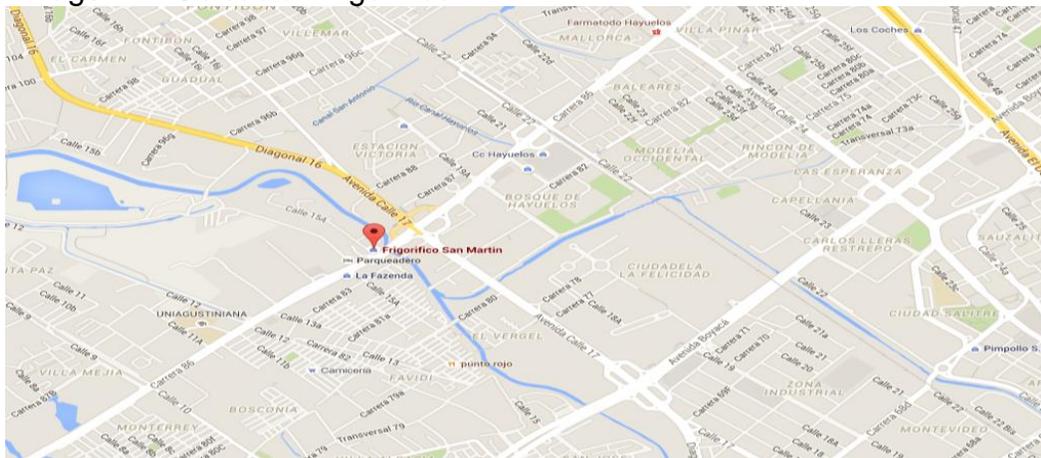
## 2. DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES DE PROCESO Y CARACTERÍSTICAS DE AGUA RESIDUAL Y POTABLE EMPLEADA EN EL FRIGORIFICOS BLE LTDA POR MEDIO DE UN BALANCE HÍDRICO

El frigorífico BLE LTDA cuenta con dos plantas de beneficio, una para bovinos y otra para porcinos, en las cuales se requiere una demanda alta del recurso hídrico para su operación, por tal motivo, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de agua potable para suplir esta demanda de agua en los procesos de beneficio, debido al gran consumo de agua, se generan grandes caudales de agua residual que provienen tanto de las operaciones de sacrificio como de las actividades administrativas y domésticas de la compañía, a continuación se describe las plantas de beneficio de bovinos y porcinos, las planta de tratamiento de agua potable y residual, los consumos de agua potable dentro del frigorífico, la caracterización del efluente de la PTAR y su cumplimiento con la norma, se evalúa la eficiencia de la PTAR, y se identifican las falencias presentadas en PTAR, se proponen unas posibles mejoras y se concluye el diagnostico.

### 2.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

El Frigorífico BLE LTDA se fundó en el año 1964 en la zona localizada en el barrio la Floresta, años después fue trasladado a la Av. Ciudad de Cali con Calle 13 ,cerca de importantes avenidas como: Av. Boyacá, Av.68, Av. De las Américas, su condición geográfica es inmejorable tanto para la afluencia de ganado como para la distribución de carne en canal.

Imagen 2. Ubicación frigorífico BLE LTDA



Fuente: UBICACIÓN ACTUAL DE FRIGORÍFICOS BLE LTDA , disponible en <<https://www.google.com.co/maps/place/Frigorifico+San+Martin/-@4.65796-15,-74.1376761,15z/data=!4m2!3m1!1s0x0:0xbccd26f6dba4-ff66>>, consultado el 26 de noviembre del 2016.

Cuenta con una extensión, maquinaria y sistemas europeos adecuados para sacrificar con holgura más de 20.000 reses y 10.000 porcinos al mes, así como un moderno sistema de pesaje y sacrificio automático<sup>14</sup>.

La actividad principal dentro del Frigorífico es el sacrificio de animales (bovinos y porcinos), desde el momento de la recepción de los mismos en corrales dispuestos a lo largo del terreno, lavado, corte y distribución de carne de tal forma que los productos que se comercializan a partir de estas actividades son; carne en canal bovina y porcina, vísceras bovinas y porcinas, harina de sangre, compost y bilis.

2.1.1 Planta de beneficio. El Decreto Ley 1036 de 1991 hace una clasificación de las plantas de beneficio en el país, según la capacidad de sacrificio, disponibilidades técnicas y dotación, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de plantas de beneficio

Clase de planta de beneficio	Turnos (horas)	Capacidad de sacrificio diario
I	8	Más de 480 reses y más de 400 cerdos
II	8	Más de 320 reses y más de 240 cerdos
III	8	Más de 160 reses y más de 120 cerdos
IV	8	Más de 40 reses y más de 40 cerdos
Mínimo	Hasta 2000 habitantes	2 reses y 2 cerdos (por hora)
Planchones		No considerado en el Decreto

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA, GUÍA EMPRESARIAL PLANTAS DE BENEFICIO ANIMAL , disponible en < <http://www.ambientalex.info/guias/GuiaAmbPBA.pdf>>, consultado el 4 de Marzo de 2016.

La Planta de Beneficio Animal (PBA) se enfoca en prestar el servicio de sacrificio y faenado de bovinos y porcinos y de esta manera proveer a quien le solicite carne y demás subproductos que se obtienen de este proceso. Las PBA son el conjunto de infraestructura, equipos y recursos humanos donde se presentan el intercambio de relaciones que se dan a su interior, dentro del proceso de sacrificio, como al exterior. En las actividades previas al beneficio y las posteriores de distribución y comercialización. Igualmente, se tienen diferentes relaciones entre los resultados y

<sup>14</sup> DEPARTAMENTO DE INGENIERIA FRIGORIFICO BLE LTDA.

habilidades, conocimientos y aptitudes de los trabajadores, que permiten identificar los aspectos sustanciales para un adecuado comportamiento empresarial<sup>15</sup>.

De acuerdo a lo anterior clasificación según la ley 1036 de 1991 el frigorífico BLE Ltda se clasifica como planta de beneficio CLASE I; ya que este trabaja siete días a la semana, durante todo el año en turnos de 8 horas; su capacidad máxima es la siguiente:

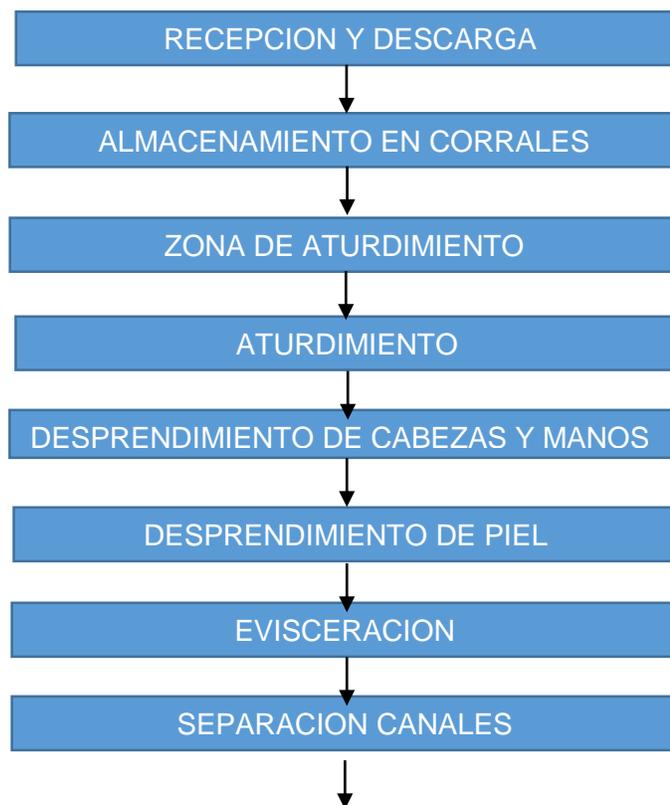
Tabla 2. Capacidad máxima de operación plantas de sacrificio

Especie	Hora	Día	Meses
Bovinos	125	1500	42000
Porcinos	126	1400	39200

Fuente: Departamento de gestión ambiental Frigoríficos BLE LTDA.

2.1.2 Actividades de sacrificio. El frigorífico tiene distribuidas en sus instalaciones la etapa del proceso de cada una de las plantas de tal manera que pasan de las operaciones más sucias a las operaciones más cada vez más limpias hasta llegar al punto de entrega del producto, estas etapas son<sup>16</sup>

Diagrama 1. Descripción del proceso de sacrificio de bovinos



<sup>15</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2003

<sup>16</sup> DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL FRIGORÍFICO BLE LTDA.

Diagrama 1. (Continuación )

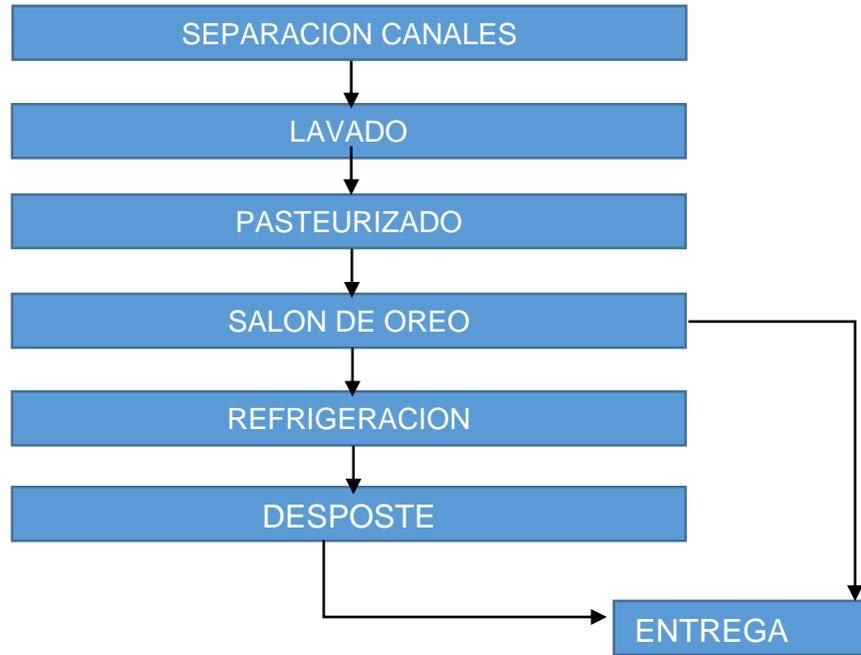
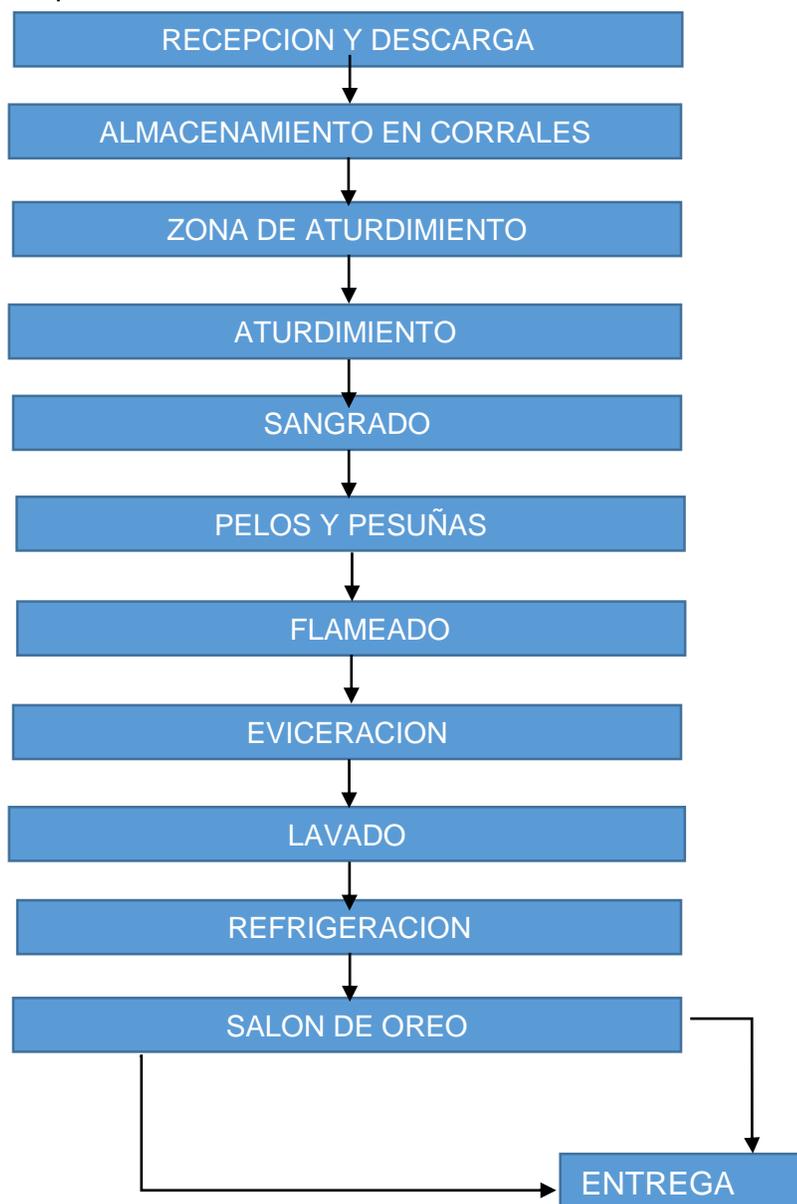


Diagrama 2. Descripción del proceso de sacrificio de porcinos

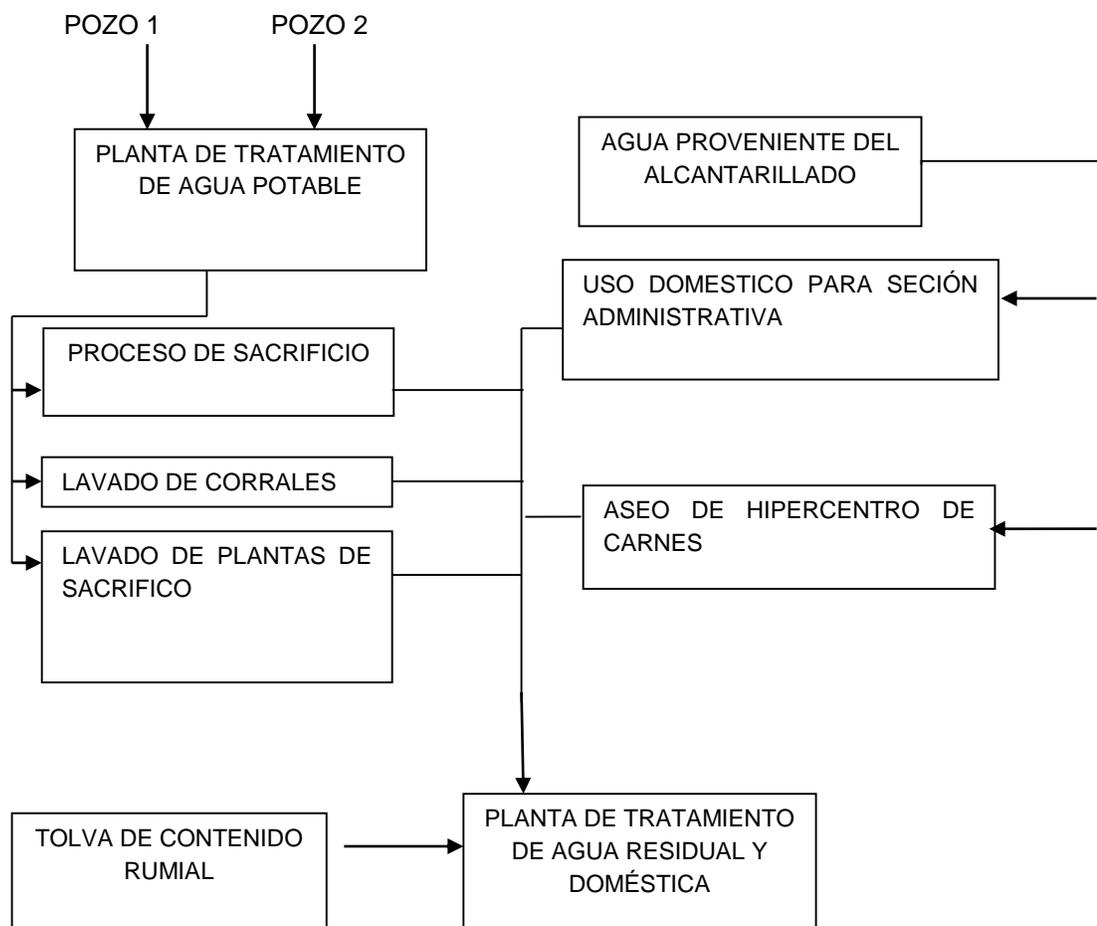


## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DENTRO DEL FRIGORÍFICO

Esta es una industria que demanda una alta cantidad de agua, todas sus dependencias la utilizan en diversas actividades, por tal razón es importante explicar los valores que demanda el frigorífico y así tener una magnitud del agua usada, cabe aclarar que la empresa cuenta con dos plantas de tratamiento de agua, una de ellas es la planta de tratamiento de agua potable que se encarga de purificar agua que se extrae de dos pozos que posee el frigorífico, esto con el fin de usarse como agua de proceso., la otra es una planta de tratamiento de agua residual que se explica más adelante.

En la siguiente diagrama se evidencian las corrientes en las que se consume tanto agua potable tratada de pozo como agua de proceso, como la proveniente del alcantarillado usada como agua de servicio doméstico y administrativo, también se tiene en cuenta la corriente de agua que limpia el contenido ruminal.

Diagrama 3. Consumo de agua en el frigorífico BLE LTDA



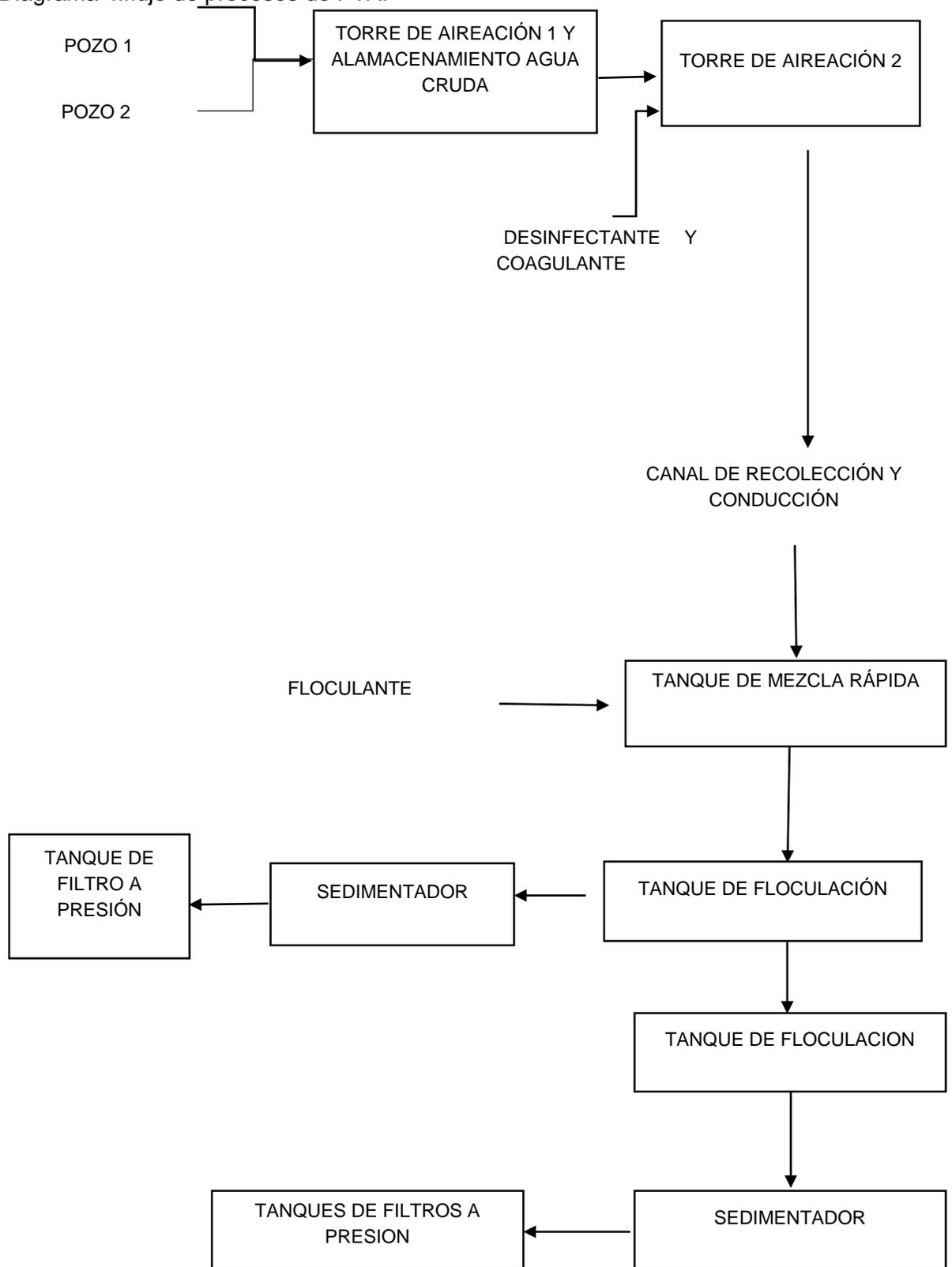
Según la figura anterior se procede a describir primero la planta de tratamiento de agua potable, seguido por los consumos de agua proveniente de alcantarillado; la carga diaria de contenido ruminal en la tolva, y por último la planta de tratamiento de agua residual, a la cual llegan estos efluentes

Las condiciones de operación y las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de agua potable se explican con detalle a continuación.

### 2.3 PLANTA DE AGUA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Se implementó con el fin de garantizar que el agua tratada en la organización para el uso en las plantas de beneficio de ganado bovino, porcino y programas pre-requisitos como el de limpieza y desinfección, cumpla con los parámetros establecidos en la legislación vigente para agua apta para consumo humano, el proceso se lleva a cabo desde el momento de la extracción del recurso, tratamiento de potabilización, almacenamiento temporal hasta la distribución a cada una de las áreas susceptibles a hacer uso de este recurso. El abastecimiento de agua se hace a partir de la extracción del agua de un pozo subterráneo cuya explotación fue autorizada por medio de la resolución 1332 de noviembre de 2002 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "CAR", se cuenta de igual forma con un segundo pozo con autorización de explotación según la resolución 1332 de noviembre de 2002.

Diagrama 4.flujo de procesos de PTAP



Las dimensiones y materiales de los equipos utilizados en la planta de tratamiento de agua de pozo se especifican a continuación.

Cuadro 4. Dimensiones de los equipos de la planta de tratamiento de agua potable

Equipo	Dimensiones	Material
Torre de aireación 1	1.4 x 1.4 x 8 m	Lámina Galvanizada
Torre de aireación 2	1.4 x 1.4 x 8 m	Lámina Galvanizada
Canal de recolección	Largo:4 Ancho:0.4 Alto: 0.41 m	Concreto
Tanque de mezcla rápida	L: 0.81 A: 0.79 A: 1.3 m	Concreto
Tanque de floculación	L: 5.1 A: 2.4 A: 1.3 m	Concreto
Sedimentador 1	L: 10 A: 3 A: 1.7 y 2.1 m	Concreto
Tanque de filtro a presión	L: 2.4 A: 1.1 A: 1.6 m	Concreto
Tanque de almacenamiento de agua potable		

Las operaciones realizadas dentro de esta planta se explican teniendo en cuenta el orden en el que ocurren

**TORRES DE AIREACIÓN:** En estas aumentan los niveles de oxígeno disuelto por contacto del aire con el agua, esta actividad es necesaria debido al escaso nivel de oxígeno en aguas subterráneas. El agua pasa por una torre de aireación las cuales tienen Pall Ring, y posteriormente es recolectada en un tanque de almacenamiento, en donde se le adiciona hipoclorito de calcio, y finalmente se envía a la segunda torre de aireación.

Imagen 3. Torre de aireación



**PREDESINFECCIÓN:** La adición del hipoclorito obedece a la necesidad de pre-oxidar la materia orgánica disuelta en el agua por un canal de recolección y conducción.

**COAGULACIÓN:** Se desestabilizan las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión, este proceso se realiza en mezcla rápida a través de la adición de coagulante en la parte superior de la segunda torre de aireación.

**FLOCULACIÓN:** En este punto las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores. Este proceso se realiza por un tiempo más prolongado y con una agitación mucho más lenta, permitiendo mejores características en el floc (mayor peso y tamaño).

**SEDIMENTACIÓN:** Formación del floc y su posterior localización en el fondo de las estructuras por precipitación, los sedimentadores constan de zona de entrada, salida, sedimentación y lodos, el paso del flujo ocurre a través de sedimentadores.

Imagen 4. Tanque de sedimentación



**HOMOGENIZACIÓN:** En este proceso se recibe el agua clarificada mediante un tanque pulmón, permitiendo cierto grado de oxigenación y regulando el caudal para que la bomba de los filtros se accione automáticamente y así iniciar la succión hacia los lechos filtrantes.

Imagen 5. Tanque de pulmón



**FILTRACIÓN:** En este proceso ocurre el paso del agua tratada a través de dos filtros a presión, filtro (arena, grava, antracita, zeolita y carbón activado). El medio filtrante retiene olor, color y sólidos sedimentables presentes en el efluente, es importante tener en cuenta que se debe realizar cambio de los medios filtrantes de acuerdo al cronograma de la planta de tratamiento de agua.

**DESINFECCIÓN:** Los microorganismos que no lograron ser removidos en las actividades anteriores, son eliminados a través de la aplicación de cápsulas de hipoclorito de calcio.

Imagen 6. Tanque de almacenamiento agua potable



El Frigorífico BLE LTDA realiza extracción de agua de pozo que procesa hasta llevar a agua potable, a continuación se muestran los resultados de un análisis de laboratorio realizado el 17 de Junio del año 2015 , estos en su mayoría cumplen con la resolución 2115 del año 2007.

Cuadro 5. Parámetros del agua potable comparados con la Resolución 2115 de 2007

Variable	Método de análisis	Resultados	Resolución 2115 de 2007	Concepto
Alcalinidad total a pH 8.19 mg CaCO <sub>3</sub> /L	Potencio métrico	92	200	CUMPLE
Aluminio total mg Al / L	A.A llama	1,20	0,2	NO CUMPLE
Calcio total mg CaL L	A.A llama	7,25	60	CUMPLE
Carbono orgánico total , mg COT/L	SM 5310 C	<2,3	5	CUMPLE
Zinc total , mg Zn /L	A.A llama	0,233	3	CUMPLE
Cloruros , mg Cl/L	Argentométrico	100	250	CUMPLE
Cloro residual , mg Cl <sub>2</sub> /L	Colorimétrico	0,7	0,3-2,0	CUMPLE
Color aparente a pH 8,19 Pt-Co	Discos comparativos	7,5	15	CUMPLE
Dureza total , mg CaCO <sub>3</sub> /L	Complexométrico	33	300	CUMPLE
Fluoruros , mg F/L	Iones selectivos	<0,66	1	CUMPLE
Fosfatos ,mg PO <sub>4</sub> /L	Cloruro stannoso	<0,22	0,5	CUMPLE
Hierro total , mg Fe /L	A.A llama	0,51	0,3	NO CUMPLE

Cuadro 5. (Continuación)

Magnesio total , mg Mg/L	A.A llama	1,32	36	CUMPLE
Manganeso total , mg Mn/L	A.A llama	0,064	0,1	CUMPLE
Molibdeno total , mg Mo/L	A.A llama	<0,0228	0,07	CUMPLE
Nitratos , mg NO <sub>3</sub> /L	Salicilato de sodio	3,01	10	CUMPLE
Nitritos , mg NO <sub>2</sub> /L	Zambelli	<0,032	0,1	CUMPLE
pH a 19°C	Electrométrico	8,19	6,5 A 9,0	CUMPLE
Sulfatos mg SO <sub>4</sub> /L	Turbidimétrico	4,86	250	CUMPLE
Turbiedad a 19 °C , NTU	Nefelométrico	1,52	2	CUMPLE

Con el fin de evidenciar el consumo de agua en cada una de las dependencias del frigorífico se muestran los caudales respectivos así:

2.3.1 Consumo total diario de la planta de tratamiento de agua potable en todo el proceso de sacrificio. El agua obtenida para el proceso de sacrificio en las dos plantas se hace a través de un pozo subterráneo perforado en predios del Frigorífico, bajo el control de la CAR, teniendo en cuenta que la producción actual de agua por esta fuente es de 12 L /s para cada pozo, para un total de 24 L/s.

Esta cantidad de agua gastada incluye la etapa anterior, posterior y el sacrificio en sí, calculadas como el caudal C1, incluyendo las siguientes etapas:

- Lavado de las reses y los cerdos ante-mortem.
- Escaldado en el caso de los cerdos.
- Lavado de las reses y cerdos durante el proceso de faenado.
- Lavado durante el proceso (enjuagues de utensilios, pisos y canales).
- Limpieza de panza e intestinos.
- Limpieza de vísceras.
- Consumo de agua para la producción de vapor.

Ecuación 1. Consumo  
aguapotable 1.

$$C_1 = 17,68 \frac{L}{S}$$

2.3.2 Consumo de agua para proceso de lavado de plantas de sacrificio de la planta de tratamiento de agua potable.

En este consumo está incluido el lavado de las dos plantas: bovinos y porcinos y el lavado de corrales de porcinos, es de 80 m<sup>3</sup> /día.

Ecuación 2. Consumo  
aguapotable 2.

$$C_2 = 0,92 \frac{L}{S}$$

2.3.3 Consumo de agua de la planta de tratamiento de agua potable para lavado de corrales bovinos.

El consumo estimado para el lavado de corrales será de 2L/m<sup>2</sup>. Tomando como base el área de corrales de bovinos, 8270 m<sup>2</sup> y realizando el lavado de corrales diario, se tiene, que el consumo de agua potable será de 16540 L/día.

Ecuación 3. Consumo  
agua potable corrales

$$C_{CORRALES} = C_3 = 0,19 \frac{L}{S}$$

## 2.4 CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA RED DE ALCANTARILLADO

Según la figura 3 dentro de este consumo se tiene el agua que se dispone para uso doméstico, administrativo, y el agua que se consume para el aseo del hipocentro de carnes.

2.4.1 Consumo de agua potable para uso doméstico y administrativo.

Los servicios diarios que demandan agua para las instalaciones del área administrativa del frigorífico como son baños, cocinas, duchas, etc, son abastecidos mediante la red de agua de la ciudad, de acuerdo con la facturación mensual promedio efectuada, se tiene un consumo equivalente de 40m<sup>3</sup>/día , equivalente a:

Ecuación 4. Consumo  
agua potable 4

$$C_4 = 0,46 \frac{L}{S}$$

El efluente generado por este consumo, es agua residual doméstica que llega a la PTAR.

#### 2.4.2 Consumo de agua potable para aseo del hipercentro de carnes.

El consumo de agua potable gastado en actividades diarias del hipocentro de carnes: baños y en general servicios domésticos, además de actividades de limpieza es de 30 m<sup>3</sup>/día .

Ecuación 5. Consumo de agua potable 5

$$C_5 = 0,34 \frac{L}{s}$$

El efluente generado por este consumo es agua residual doméstica que llega a la PTAR. De acuerdo con los datos anteriores, el caudal total obtenido por consumo de agua potable es de<sup>17</sup> :

Ecuación 6. Caudal Total agua potable

$$C_4 + C_5 = Q_{potable} = 0,80 \frac{L}{s}$$

Teniendo en cuenta la información anterior y los caudales analizados, la planta de tratamiento de agua residual recibe agua residual industrial y doméstica con un caudal máximo diario de:

Ecuación 7. Caudal total de entrada a la PTAR

$$C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = Q_{MÁX} = 19,59 \frac{L}{s}$$

Donde

C<sub>1</sub> = Consumo total diario de agua de la PTAP en todo el proceso de sacrificio.

C<sub>2</sub> = Consumo agua para lavado de las dos plantas y corrales porcinos

C<sub>3</sub> = Consumo agua para lavado corrales bovinos y porcinos.

C<sub>4</sub> = Consumo agua potable para uso doméstico (administrativo).

C<sub>5</sub> = Consumo agua potable para del aseo del Hipercentro de carnes.

El volumen del efluente generado está en proporción de los volúmenes de agua consumidos, y varía entre el 90 al 95% del agua utilizada.

---

<sup>17</sup> DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL FRIGORÍFICO BLE LTDA

El contenido ruminal obtenido de lavado de bovinos y porcinos (reses y cerdos) Generado en el lavado de panzas y de intestinos en el salón de vísceras blancas da la sala de sacrificio de bovinos, se obtiene en promedio 30 kg por bovino sacrificado.

El contenido ruminal es bombeado a través de una tubería especial a una tolva en donde se le extrae el residuo líquido, el cual es conducido a la PTAR para su tratamiento y el residuo sólido es convertido en compost.

Tomando como base la capacidad máxima de sacrificio que es de 1500 bovinos por día, la cantidad máxima de contenido ruminal que recibe la tolva es de:

Ecuación 8. Carga máxima contenido ruminal

$$CR_{MÁX} = 45.000 \frac{kg}{día}$$

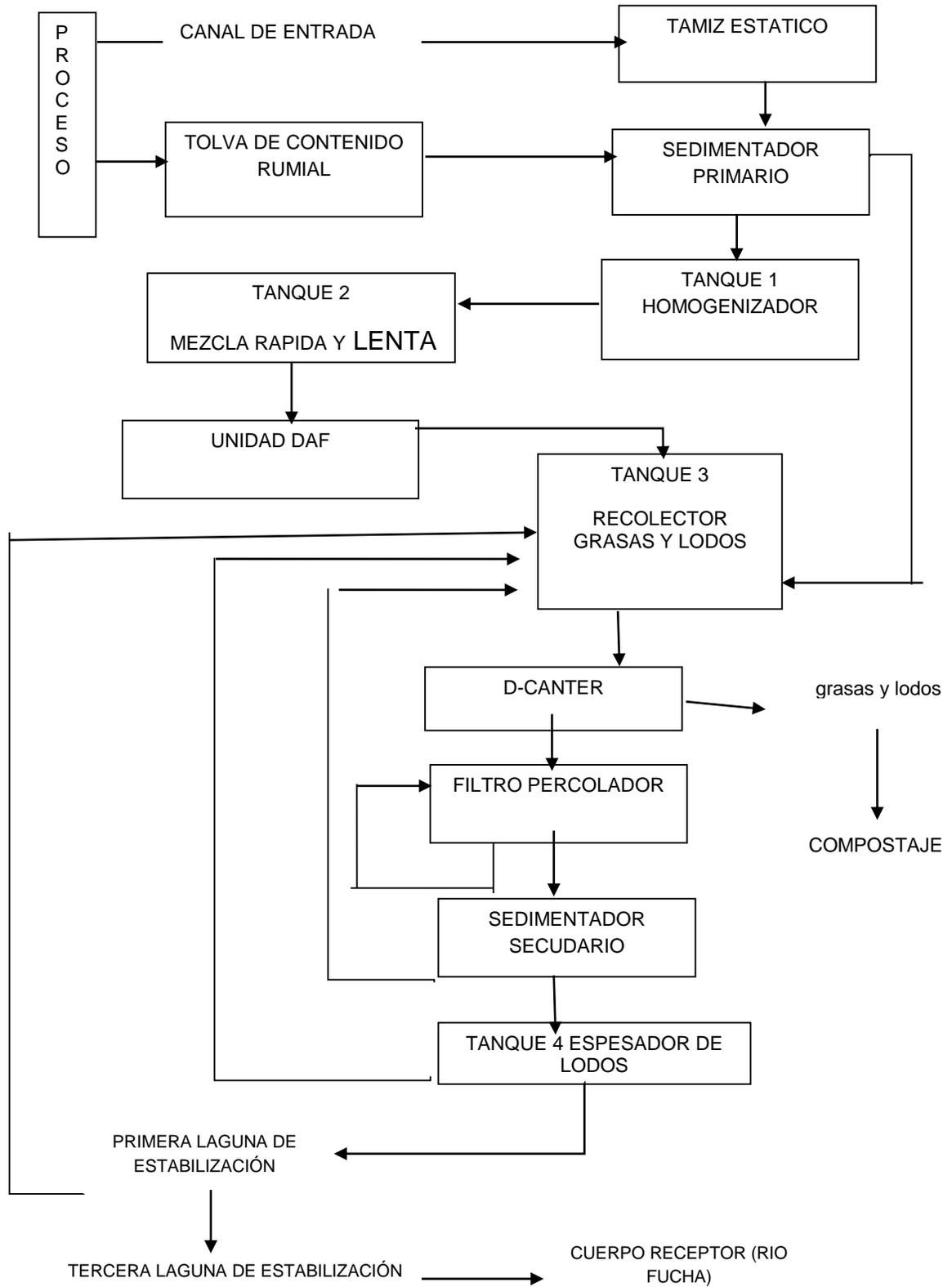
Ya con este caudal de agua consumida en los diferentes procesos del frigorífico se tiene el caudal de entrada a la planta de tratamiento de agua residual que es alrededor de 19,59 L/s.

## 2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL Y DOMÉSTICA

La planta de agua residual ha sido diseñada e implementada con una serie de operaciones unitarias que permiten el tratamiento del agua residual industrial y doméstica , permitiendo así que el efluente de dicha planta hacia el cuerpo receptor (Río Fucha ) cumpla en la medida de lo posible con los parámetros exigidos por la autoridad ambiental.

A continuación se explican las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de agua residual que recibe 19,59 L/s , esta planta se encarga de eliminar la mayoría de sólidos suspendidos (grasa , vísceras , coágulos , pelos ) , además de disminuir materia orgánica y biológica a través de procesos físico-químicos con la implementación de tratamiento de aguas de tipo primario y secundario.

Diagrama 5. Flujo de procesos de la PTAR



Las operaciones unitarias del proceso de la PTAR se describen a continuación con las dimensiones y materiales de los equipos utilizados para llevar a cabo cada una de las etapas.

**CANAL DE ENTRADA:** es el paso a través de rejillas donde se retienen los sólidos de mayor tamaño como lo son vísceras, porciones de cebo, casquillos; estas rejillas no son uniformes lo cual disminuye la eficiencia de remoción permitiendo que pasen sólidos de tamaños considerables; Además es la encargada de conducir los efluentes de los proceso de sacrificio a la caja de distribución de caudales, El caudal se presenta a continuación.

Cuadro 6. Dimensiones y caudales del canal de entrada a la PTAR

Canal de entrada	Primera jornada	Segunda jornada
Caudal máximo	22 L/s	55 L/s
Caudal promedio	7,3 L/s	26 L/s
Caudal mínimo	1,9 L/s	1,5 L/s
Velocidad caudal promedio	0,15 m/s	0,23 m/s

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 7. Canal de entrada



**TAMIZ ESTÁTICO:** en esta parte se envía el vertimiento ya desbastado hacia dos tamices estáticos, en donde los sólidos de diámetro mayor son removidos del agua residual quedando sólidos de aproximadamente un milímetro. Diariamente se remueven los sólidos que se acumulan en las mallas y son llevados a la zona de compostaje.

Cuadro 7. Dimensiones y caudales de los tamices de la PTAR

Tamices	
Ancho del tamiz	1,82 m
Apertura de malla	0,75 mm
Caudal maximo de diseño	37 L/s

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 8. Tamices



**SEDIMENTADOR PRIMARIO:** este equipo recibe el efluente que proviene de los tamices, en esta unida se realiza una oxidación primaria de dicho caudal donde se retienen los sólidos suspendidos por sedimentación. En la PTAR se tiene dos sedimentadores primarios en paralelo los cuales tienen las siguientes medidas, caudal y tiempo de retención.

Cuadro 8. Dimensiones y caudales de los sedimentadores de la PTAR

Sedimentadores en paralelo	
Caudal máximo por sedimentador	23,8 L/s
Caudal min	12 L7s
Ancho	4 m
Largo	6,20 m

Cuadro 8. (Continuación)

Sedimentadores en paralelo	
Altura	1,92m
Área superficial	24 m <sup>2</sup>
Volumen	47 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	0,55 horas

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 9. Sedimentador Primario



**TOLVA DE CONTENIDO RUMINAL:** en este para se realizar la remoción de un porcentaje de sólidos suspendidos, por sobrenadantes y por decantación. La tolva de contenido ruminal, permite la deshidratación de los sólidos, con el fin de enviar el líquido separado al sedimentador primario y los sólidos a la zona de compostaje

**TANQUE HOMOGENIZADOR:** en este tanque se busca eliminar las variaciones de caudal y de carga orgánica que llegan a la planta. Con el fin de garantizar una homogenización del caudal y de la carga orgánica, esto se logra gracias a dos agitadores y aireadores superficiales, que operan en forma continua.

Cuadro 9. Dimensiones y caudal del tanque homogeneizador de la PTAR

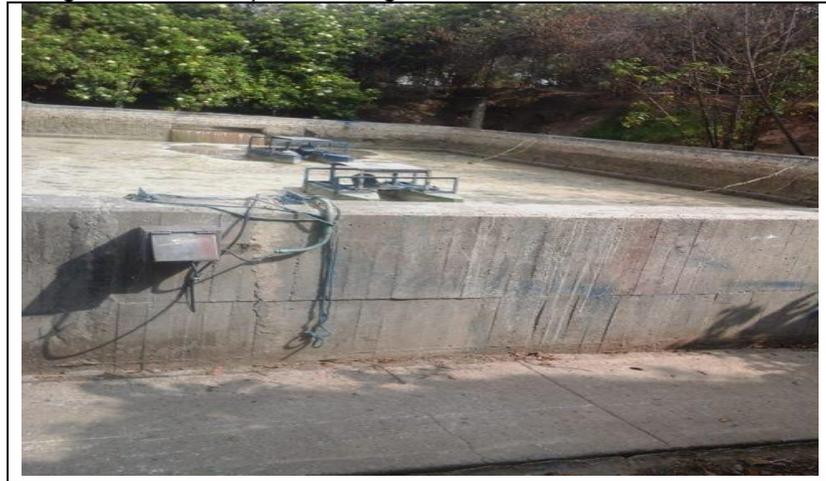
Tanque homogeneizador	
Ancho	10,08 m
Largo	17,30 m
Altura	3 m

Cuadro 9. (Continuación)

Tanque homogenizador	
Volumen	518,8 m <sup>3</sup>
Caudal de bombeo	7 L/s

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 10. Tanque homogenizador



CANALETA PARSHALL: la función de esta es regular el caudal proveniente del tanque de homogenización, para facilitar la adición de productos químicos en operaciones posteriores en el proceso.

Cuadro 10. Dimensiones y caudal de la Canaleta Parshall de la PTAR

Canaleta parshall	
Ancho de garganta	3 in
Caudal máximo	15,74 L/s
Caudal Promedio	7 L/s
Material	Concreto

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 11. Canaleta Parshall



**ESTRUCTURA DE MEZCLA RÁPIDA Y LENTA:** en esta parte del proceso se adiciona el coagulante y floculante aprovechando la mezcla rápida y lenta que se da en el punto con el fin de desestabilizar los coloides presentes en el agua residual y romper las grasas emulsionadas para facilitar su posterior separación en la siguiente etapa.

Cuadro 11. Dimensiones y gradiente de velocidad de las estructuras de mezcla de la PTAR

Tanques de mezcla	Mezcla lenta 1	Mezcla rápida 2
Ancho	0,97 m	2,64 m
Largo	1,10 m	2,80 m
Altura	1,15 m	2,25 m
Volumen	1,23 m <sup>3</sup>	16,2 m <sup>3</sup>

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 12. Estructura de mezcla rápida y lenta



UNIDAD DAF: en esta unidad el material en suspensión compuesto por partículas de grasa, aceite y sólidos suspendidos es rápidamente llevado a la superficie con la ayuda de micro burbujas que han sido creadas con un sistema de aireación Microfloat de Aire – O<sub>2</sub>, esta mezcla de grasa y sólidos que flotan son removidos mediante un sistema de barredores mecánicos que los separan del agua. Estas grasas se depositan en una tolva, donde son enviados a un tanque colector. Parte del material en suspensión que no flota, se decanta en la parte inferior cónica del DAF, a través de una válvula de mariposa con cuerpo de hierro fundido.

Cuadro 12. Dimensiones y caudal de la unidad DAF de la PTAR

Unidad DAF	
Diámetro	4,56 m
Altura	3,48 m
Volumen	43,39 m <sup>3</sup>
Diametro feedwell	0,6 m
Altura feedwell	1,22 m
Caudal	7 L/s

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 13. unidad DAF



**ALIMENTACION AL D-CANTER:** Las grasas y lodos luego de ser removidos en la unidad DAF son llevados a un tanque colector, de donde posteriormente se envían a una centrifuga súper D- Canter, en la cual se deshidratan y se envía para el compostaje.

**FILTRO PERCOLADOR:** El agua residual ingresa al filtro y es distribuida sobre toda el área mediante una red tipo flauta (mainfold). El agua tratada por el filtro es colectada por canales estructurales de donde el 50% se recircula nuevamente a través del filtro y el restante es enviada hacia los sedimentadores secundarios previa adición de floculante.

Cuadro 13. Dimensiones y cargas volumétricas del filtro percolador de la PTAR

Filtro percolador	
Largo	7,56 m
Ancho	7,08 m
Altura	4,8 m
Volumen	256,9 m <sup>3</sup>
Borde libre	0,5 m
Caudal promedio	7 L/s

**SEDIMENTADOR SECUNDARIO:** En este sedimentador se realiza una decantación de los sólidos suspendidos que provienen del filtro percolador, con el propósito de darle un tiempo de retención para la sedimentación de dichas partículas, y posteriormente retirar el material flotante.

Cuadro 14. Condiciones de operación de los sedimentadores secundarios de la PTAR

Sedimentadores secundarios	
Unidades	2
Longitud por unidad	9,8 m
Ancho por unidad	2,8 m
Altura	1 m
Volumen	27,44 m <sup>3</sup>
Caudal	3,5 L/ s
Tiempo de retención por unidad	2 h

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Imagen 14. Sedimentador secundario.



**ESPESADOR DE LODOS:** Se encarga de retirar la mayor cantidad de agua de los lodos y traslado al tanque recolector de lodos del DAF para luego ser deshidratados en el D-Canter.

Cuadro 15. Dimensiones del espesador de lodos de la PTAR

Espesador de lodos	
Unidades	1
Diámetro	3,6 m
Altura	2,63 m
Volumen	26,77 m <sup>3</sup>
Altura de la tolva	3 m
Volumen de la tolva	11 m <sup>3</sup>
Altura total	6,87 m
Ancho de canal de salida	0,3 m
Altura canal de salida	0,24 m
Diámetro del feedwell	1,44 m

Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

**PRIMERA LAGUNA DE ESTABILIZACION:** En esta laguna el efluente tiene una permanencia de 12 días, donde se estabilizan las variaciones de flujo, y disminuye los sólidos suspendidos, sedimentables y grasas y aceites.

Imagen 15. Primera Laguna de estabilización



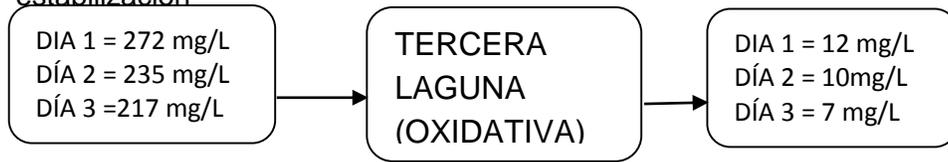
TERCERA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN: El efluente de la primera laguna pasa a esta tercera con un tiempo de retención de 3 días, en donde se continúa el proceso de estabilización y posteriormente es vertida al cuerpo receptor.

Imagen 16. Tercera Laguna de estabilización



Según una revisión especializada en el año 2007 se determinó que la eficiencia de las lagunas tiene la mayor parte de remoción del material sólido suspendido, dejando actuar a los microorganismos que degradan los contaminantes presentes en la misma , además de ello se aprovecha el aire para el proceso oxidativo al aire libre, a continuación se presenta un balance de masa en la laguna de oxidativa , los porcentajes disminuyen con el paso de los días .

Diagrama 6. Balance de masa de sólidos suspendidos totales de laguna de estabilización



Fuente: Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

La compañía tiene un seguimiento anual de los valores de entrada y salida de los diversos contaminantes del agua, en este periodo de tiempo se realizan dos análisis, los resultados obtenidos son de vital importancia para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual.

Es importante tener en cuenta la caracterización de efluentes típicos del frigorífico que presentan las siguientes características:

- Alta carga orgánica debido a la presencia de sangre, grasa, estiércol y contenido estomacal y ruminal aproximadamente 142,45 Kg DBO diarios .
- Altos niveles de aceites y grasas 2601 mg/L
- Fluctuaciones en el pH debido a la presencia de agentes de limpieza ácidos o cáusticos.
- Altos niveles de nitrógeno, fósforo y sal.

A continuación, se muestran los aportes de contaminación de cada uno de los procesos, para ello se toma el peso promedio de la canal del macho bovino por ser el mayor (270 Kg).

Tabla 3. Aporte de carga contaminante diaria de cada uno de los procesos de sacrificio.

Área de generación	Kg DBO/ Ton peso del cadáver	Carga contaminante diaria (Kg DBO)	Observaciones
Corrales	0,25	142,45	Desechos sólidos son removidos Toda la sangre drenada durante actividades de matanza
Sangre	10	5698	
Limpieza de la remoción de la piel	3	1336,5	Depende de las prácticas de limpieza y del equipamiento para las operaciones del lavado.
Escaldado y depilado	0,15	18,64	Desborde del tanque de escaldado.
	0,4	49,72	Agua de descarga del tanque de escaldado
	0,7	87,01	Lavado de la recuperación de pelo.

Tabla 3. (Continuación)

Área de generación	Kg DBO/ Ton peso del cadáver	Carga contaminante diaria (Kg DBO)	Observaciones
Panzas	2,5	1424,5	En el caso de una descarga total
	1,5-2,0	854,7	En el caso de una descarga húmeda
	0,2	113,96	En el caso de una descarga seca
	0,6-1,0	267,3	En el caso de un manejo entero de panzas.
Manejo de intestinos	0,6	341,88	
Procesamiento de subproductos no comestibles	2	1139,6	
Limpieza general	3	1709,4	Depende de los procedimientos de limpieza.

Fuente : Departamento de gestión ambiental frigorífico BLE LTDA

Teniendo en cuenta la resolución No. 0631 del 17 de marzo del año 2015, se presenta a continuación un comparativo de los valores obtenidos de la corriente de salida de la PTAR del mes de Julio del año 2015 con la norma mencionada que establece los parámetros fisicoquímicos y los valores límites máximos permisibles a cuerpos de aguas superficiales de la actividad de sacrificio y beneficio de bovinos y porcinos. Esto se realiza con el fin de revisar los parámetros que actualmente exceden los valores establecidos en la resolución mencionada.

- Informe análisis de laboratorio

Observación: muestra tomada por el laboratorio siguiendo procedimiento; preparación de muestreos, matriz agua calidad cad-pmma  
 Resultados de análisis del 11 de julio de 2015  
 Entrada ag 2004; entrada ptar, salida ag 2005; salida ptar

Tabla 4. Valores de los parámetros del afluente y efluente de la PTAR comparados con el decreto 0631

Parámetro	Unidad	Método análisis	Resultado entrada	Resultado salida	Decreto 0631/2015 artículo 9	Concepto
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	Reflujo abierto	5882	706	800	CUMPLE
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	Incubación 5d	3264	470	450	NO CUMPLE
Grasas y aceites	mg/L	Extracción Soxhlet	1191	32	30	NO CUMPLE
SST	mg/L	Gravimetría	2808	464	225	NO CUMPLE
Material flotante	–	Visual	Presencia	Ausencia	Ausente	–
Bario total	mg Ba/L	A.A Llama	0,40	0,095	–	–
Cadmio total	Mg Cd/L	A.A Llama	NS	<0,024	–	–
Cobre total	mg Cu/L	A.A Llama	NS	0,021	–	–
Mercurio total	mg Hg/L	A.A Vapor frío	0,0014	0,001	–	–
Plomo total	mg Pb/L	A.A Llama	0,013	0,009	–	–
Níquel total	mg Ni/L	A.A Llama	NS	0,037	–	–
Fenoles totales	mg/L	Extracción cloroformo	NS	<0,051	–	–
Sulfuros	Mg S <sup>2</sup> /L	iones selectivos	1,8	> 0,1	–	–

Como se evidencia en esta tabla, comparando los valores del efluente de la PTAR del frigorífico y los establecidos por la norma ambiental, se encuentra que se incumplen en DBO , grasas y aceites y SST.

- Porcentaje de remoción de carga PTAR diaria

Tabla 5. Evaluación de la carga contaminante de la PTAR

Variable	Carga Afluyente	Carga Efluyente	Remoción carga
	kg/día	kg/día	%
DQO total	8076	567	93.0
DBO total	2909	428	85.3
Grasas y aceites	2601	13	99.5
Sólidos	13829	330	97.6

- Eficiencia de la PTAR

Está dada por la siguiente ecuación

Ecuación 9. Eficiencia PTAR

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

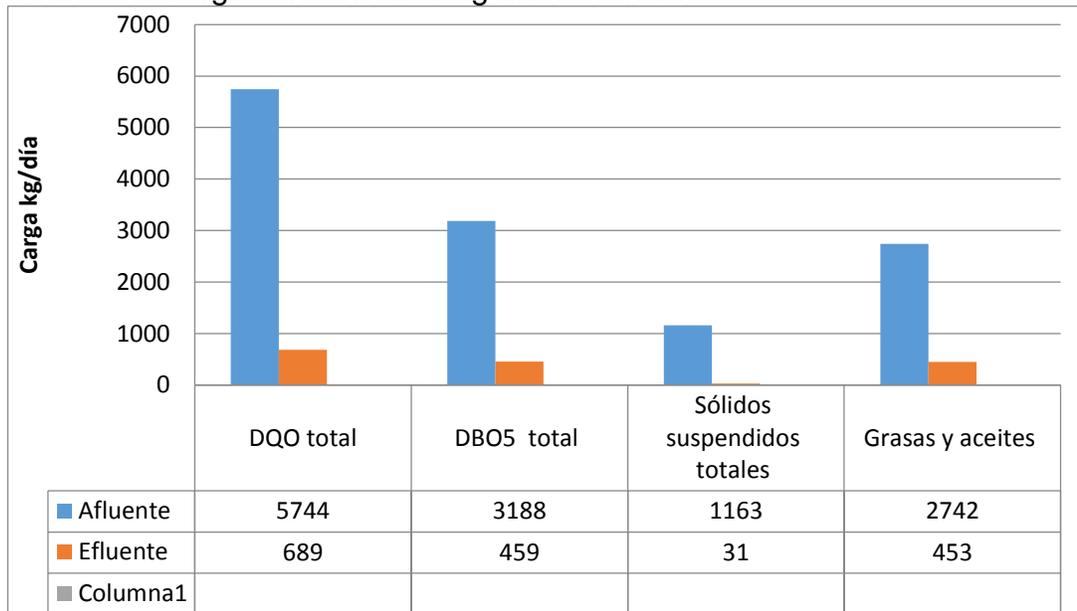
Donde:

$S_0$  = Concentración de la variable en el Afluyente, mg /L

$S$  = Concentración del parámetro en el Efluyente, mg/L

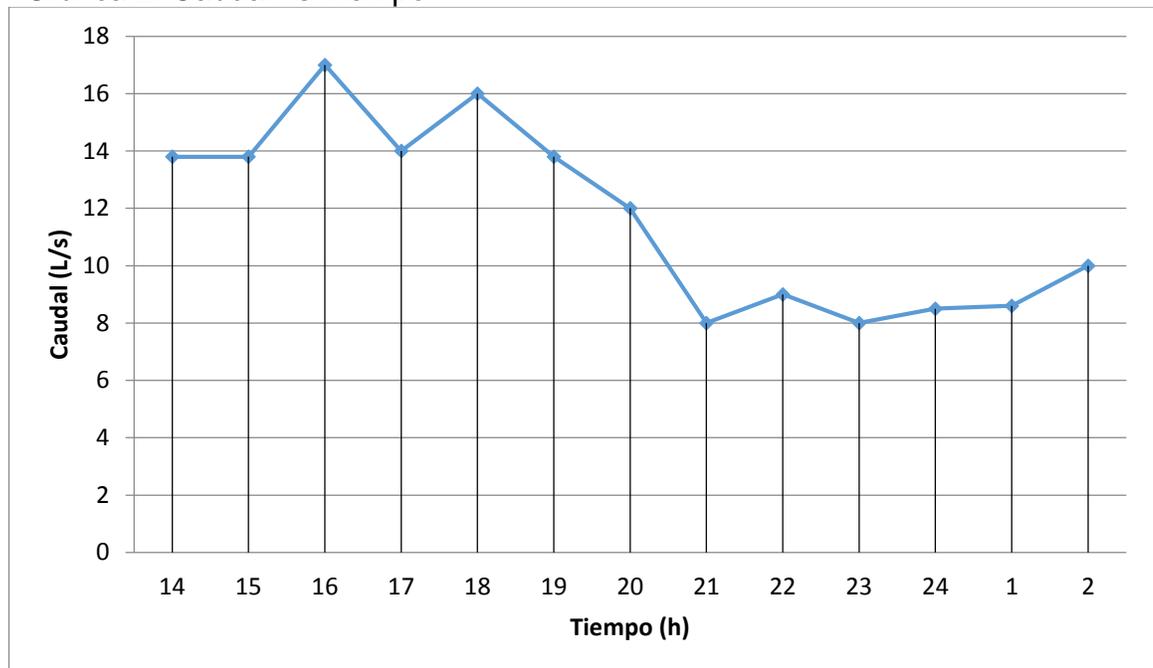
En cuanto a los cálculos de carga realizados el 24 de agosto del 2015 se obtienen los siguientes valores, para tener una idea de más clara de la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual se plantea la información en un diagrama de barras así:

Gráfica 1. Carga contaminante kg/día vs variable



La variación del flujo del efluente del proceso se muestra a continuación

Gráfica 2. Caudal vs Tiempo



El caudal de la planta de tratamiento de agua residual varía entre 17 L/s como punto máximo y 8 L/s como caudal mínimo, para un promedio de 12 L/s.

### 2.5.1 Falencias presentadas en el proceso actual de tratamiento de agua residual.

- Sedimentadores primarios: Su eficiencia es baja ya que se está presentando acumulación de sólidos en los tanques, se requiere una limpieza más rigurosa.
- Canaleta Parshall: Muestra gran variación en su flujo, esto no debería suceder ya que antes existe un tanque de igualación cuya función es la de regular un caudal constante, sin embargo los caudales cambiaron, obteniendo como caudal promedio 9,5 L/s.
- Tanque de igualación: Eventualmente se rebosa el tanque de igualación hacia el pozo de filtro percolador, esto genera una contaminación al proceso secundario.
- Sedimentadores secundarios: Los valores de salida de sólidos sedimentables, es mayor que la correspondiente a la salida el DAF, por ello se está presentando una re-suspensión de sólidos por falta de purga de lodos más frecuente.
- Unidad DAF: El barredor DAF no está correctamente instalado, ya que debe acumularse mucho sólido flotante para que este sea arrastrado por el desnatador
- pH : Algunos valores de pH se mantienen por encima de 8, durante el tratamiento biológico el rango para que las bacterias se desarrollen de manera adecuada es de de 6,5 a 7,5 , de ahí radica parte de la eficiencia de la PTAR . Además durante el tratamiento primario (coagulación, floculación y flotación) se presenta un aumento de pH, esto puede estar siendo ocasionado por la reacción del agua con los diferentes químicos empleados para la desestabilización de coloides.
- Espesador: No se realiza ninguna labor en el mismo, se sugiere mejorar el sistema de evacuación de lixiviados.
- Concentración: El valor de las concentraciones en el momento de las muestras puede estarse viendo afectado por las aguas lluvias, generando dilución de las mismas.
- Se presentan sólidos sedimentables, en todas las unidades de tratamiento, lo que está generando una acumulación en la primera laguna, lo que conlleva a una colmatación acelerada que está reduciendo la vida útil de la misma.
- Tratamiento secundario: No hay una alimentación constante al filtro percolador, esto indica posibles fallos de bombas o el fluido eléctrico , además la red que distribuye agua en la parte superior del filtro se encuentra en muy mal estado, de un total de 144 platos distribuidores tan solo 70 reciben agua , es decir qué más del 50% del filtro no es humectado correctamente , este indica que el filtro no está siendo correctamente irrigado creando zonas muertas que le restan eficiencia al proceso
- Pozos de bombeo a tamices y a tanque de igualación: En estas unidades se presenta acumulación de sólidos, es necesario realizar mantenimiento cada tres días, esto no se está realizando con la frecuencia adecuada.
- Ciclones: Hay una dilución excesiva con agua de lavado cuando no hay rumen, lo que conlleva a re humectar el material desecado por el ciclón.

### 2.5.2 Posibles mejoras a tener en cuenta para mejorar la eficiencia de tratamiento de la PTAR existente.

- Mantenimiento de las diferentes unidades, teniendo en cuenta la remoción de sólidos a tiempo.
- Cambio de la entrada a los tamices para mejorar su eficiencia y garantizar retención de sólidos
- Implementación de válvulas en el espesador de tal manera que se retiren los lodos más líquidos o clarificados.
- Implementar un sensor en el ciclón que identifique el paso de agua sin contenido ruminal para desviarlo directamente a los tamices o al pozo de bombeo inicial.
- Limpieza más frecuente de los sedimentadores primarios.
- Manipulación de las válvulas para garantizar el caudal constante en el tanque de igualación.
- Reubicación de los aireadores en el tanque de igualación para evitar los puntos muertos y anulación de las corrientes continuas, para mejorar la mezcla completa.
- Sellamiento de filtraciones y fisuras en la unidad DAF
- Dosificar correctamente los productos químicos para mejorar el proceso de floculación y coagulación de partículas coloidales.

## 2.6 CONCLUSIÓN DEL DIGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Teniendo en cuenta el Decreto 0631 del año 2015 y sus diferentes parámetros a evaluar, el efluente de la planta de tratamiento de agua residual del Frigorífico Ble LTDA excede valores de DQO, grasas y aceites y sólidos suspendidos totales, de allí se deriva la mala calidad del agua teniendo en cuenta que el valor de turbidez de la misma es de 660 FAU superando los límites máximos permisibles, está a la vez reposa en la laguna de oxidación y además cuenta con un tiempo de retención de 3 días, vertida de manera posterior al río Fucha. En cuanto a las falencias presentadas en el proceso existe una alta acumulación de sólidos suspendidos y falta de mantenimiento riguroso diario a la hora de remover los mismos de las rejillas y sedimentadores, de ahí se genera gran parte de los malos olores que se presentan dentro de la planta. La eficiencia total de la PTAR es de un 93,9 %, sin embargo a nivel de normativa ambiental incumple con los parámetros evaluados.

Realizando un análisis del balance hídrico del proceso, la planta de tratamiento de agua residual recibe un caudal máximo diario de 19,59 L/s, para este valor se tiene en cuenta el consumo diario en L/seg; total diario de agua en todo el proceso de

sacrificio, agua potable para uso doméstico, agua para el aseo del hipercentro de carnes, agua para lavado de corrales bovinos, agua para lavado de las dos plantas y lavado de corrales de porcinos , mientras que el valor del efluente de la PTAR tiene un valor de 13 L/s con un alto contenido de materia orgánica y sólidos suspendidos

.  
La compañía desea ser sostenible y amigable con el medio ambiente, además de generar una reducción de costos en la producción, teniendo en cuenta lo anterior la compañía busca reutilizar este caudal para no contaminar más el río y evitar posibles sanciones por dicho vertimiento, por tal motivo se lleva a cabo esta investigación.

### 3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA EL PROCESO DE REÚSO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ACTUAL.

En este capítulo se describen las posibles alternativas de tratamiento terciario de aguas residuales a implementar en la PTAR del Frigorífico Ble LTDA, con el fin de plantear su reuso, aclarando que la propuesta se hace para el efluente del tratamiento ya establecido que no se modificará en ninguna de sus etapas, ni condiciones.

#### 3.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Con el fin de obtener una simulación de eliminación de materia orgánica, turbidez, color y contenido microbiológico, se hace una investigación de los valores establecidos para agua de uso doméstico y los de agua potable, estos últimos no con el fin de potabilizar el agua a tratar pero si de acercarse en la medida de lo posible a estos parámetros, para evitar cualquier riesgo dentro de su reuso, esto se logra haciendo una revisión de la norma vigente colombiana y teniendo el concepto del agua tratada por la empresa dentro de algunos decretos establecidos.

3.1.1 Norma legal vigente. A partir de una revisión de los decretos establecidos por el ministerio de ambiente a todo lo referente a artículos de calidad de agua para su reuso como agua industrial y de mantenimiento, se encuentran la resolución 2115, del 22 de junio de 2007 y el decreto 1594 de 1984, artículo 38. Estos se explican con mayor precisión a continuación.

- Decreto 1594 de 1984, artículo 38.

Este artículo determina los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico, estos son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización.

Cuadro 16. Parámetros del efluente de la PTAR comparados con el artículo 38 del decreto 1584

Parámetro	Unidad	Resultado salida	Decreto 1584 de 1984 artículo 38	Concepto
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	706	No hay datos reportados	—
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	470	No hay datos reportados	—

Cuadro 16. (Continuación)

Parámetro	Unidad	Resultado salida	Decreto 1584 de 1984 artículo 38	Concepto
Grasas y aceites	mg/L	32	No hay datos reportados	–
SST	mg/L	464	No hay datos reportados	–
Material flotante	–	Ausencia	No hay datos reportados	–
Bario total	mg Ba/L	0,095	1	CUMPLE
Cadmio total	Mg Cd/L	<0,024	0,01	NO CUMPLE
Cobre total	mg Cu/L	0,021	1	CUMPLE
Mercurio total	mg Hg/L	0,001	0,002	CUMPLE
Plomo total	mg Pb/L	0,009	0,05	CUMPLE
Níquel total	mg Ni/L	0,037	–	–
Fenoles totales	mg/L	<0,051	–	–
Sulfuros	Mg S <sup>2</sup> /L	> 0,1	–	

- Resolución número 2115, 22 de junio del 2007 (artículo 2° y 5°).

Esta es una resolución dada por el Ministerio de la protección social y el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo , por medio del cual se señalan características ,

instrumentos básicos y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano, teniendo en cuenta que el agua va a usarse para uso de mantenimiento y lavado de la planta a nivel externo, es importante tener en cuenta diversos criterios, para evitar que en caso de contacto del agua con la planta a nivel interno no se presente ninguna irregularidad con los alimentos cárnicos manejados. Se plantea la importancia de esta norma no para cumplir con sus valores totalmente sino para acercarse en lo máximo posible, ya que la compañía expresa su deseo de evitar cualquier accidente de tipo humano que se pueda generar en el momento en que el agua a tratar llegue a entrar en contacto con los alimentos cárnicos que se encuentran en un ambiente totalmente inocuo.

Para ello se tienen en cuenta varias características del agua tanto físicas como químicas relacionadas con el artículo 2° y 5°, respectivamente

Cuadro 17. Valores de características físicas máximos permisibles para el consumo de agua humano comparables con el efluente de la planta de tratamiento de agua residual

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable	Agua del efluente de la ptar
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable	No aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)	2	

Fuente: MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, Resolución número 2115, 22 de junio del 2007, artículo 2°, disponible en <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur-/normas/Norma1.jsp?i=30008>>, Consultada el 8 de Marzo de 2016

Todas las características físicas deben ser mejoradas para que el efluente del tratamiento a proponer pueda usarse como de consumo humano.

El metal a remover es Níquel según la tabla 6. ya que sobrepasa el valor límite admisible en 0,017 mg /L.

Tabla 6. Valores químicos máximos permisibles para el consumo de agua humano comparables con el efluente de la planta de tratamiento de agua residual.

Elementos, compuestos químicos y mezclas de contaminantes	Expresados como	Máximo valor aceptable (mg/l)	Agua del efluente de la ptar (mg/l)	Concepto
Antimonio	Sb	0,02	-	-
Arsénico	As	0,01	-	-
Bario	Ba	0,7	0,095	Cumple
Cadmio	Cd	0,003	<0,024	Cumple
Cianuro libre y disociable	CN <sup>+</sup>	0,05	-	-
Cobre	Cu	1,0	0,021	Cumple
Cromo total	Cr	0,05	-	-
Mercurio	Hg	0,001	0,001	Cumple
Níquel	Ni	0,02	0,037	No cumple
Plomo	Pb	0,01	0,009	Cumple
Selenio	Se	0,01	-	-
Trihalometanos totales	THMs	0,2	-	-
Hidrocarburos aromático policíclicos(HAP)	HAP	0,001	-	-

Fuente: MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, Resolución número 2115, 22 de junio del 2007, artículo 5°, disponible en <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur-normas/Norma1.jsp?i=30008>>, Consultada el 8 de Marzo de 2016

### 3.2 TRATAMIENTOS DE TIPO TERCIARIO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL COMO AGUA DE MANTENIMIENTO

Haciendo una revisión bibliográfica, se investigaron tratamientos físicos, químicos y biológicos para tratar un efluente de tratamiento secundario de la planta de tratamiento de agua residual del Frigoríficos BLE LTDA, el mercado ofrece variedad de tratamientos de tipo terciario, se hace la investigación respecto a esta clase de tratamientos teniendo en cuenta que la planta de tratamiento de agua residual opera tratamiento de tipo primario y secundario. Lo ideal de esta propuesta es complementar el proceso con un tratamiento que elimine las trazas de contaminantes, la descripción de estos procesos unitarios se describen a continuación.

Cuadro 18. Operaciones unitarias de tratamiento terciario

Descripción del proceso unitario	Tipo de tratamiento
Filtración: La filtración con medios granulares remueve los sólidos suspendidos mediante el tamizado, sorción y descomposición biológica. Existen varios tipos (1)filtros de arena (lento , rápido , intermitente , recirculante )(2) filtros ascendentes de presión y de tasa alta con limpieza mecánica, (3)los filtros duales o de medios múltiples	Físico , biológico y químico
Precipitación y Coagulación química: Se usan principalmente para la remoción de sólidos disueltos y fósforo en combinación con la floculación y la sedimentación .Los productos químicos comunes usados para promover la coagulación incluyen ; sal ,cloruro férrico ,polímero , carbonato de sodio cloruro de bario, hidróxido de sodio y alumbre.	Químico
Oxidación química: se usa principalmente para la desinfección y control de olor. Los métodos principales incluyen (1) cloración , (2)ozonización y (3)radiación .	Químico
La adsorción por carbón activado remueve sólidos y material orgánico	Físico-químico

A partir de esta investigación se descartaron varias operaciones unitarias de tratamiento para el efluente de la PTAR del Frigorífico, que inicialmente aparentaban ser una opción para el efluente que en la actualidad desemboca al Río Fucha; entre ellas se encuentra un tanque clarificador y un tamiz rotativo. Un tanque clarificador es aquel equipo donde ocurre el proceso de coagulación, floculación y sedimentación; el sulfato de aluminio es el coagulante más común, pero también se pueden utilizar polímeros orgánicos, solos o en combinación con el alumbre, la suspensión de flóculos se transfiere a tanques sedimentadores o a filtros para separar los flóculos, los cationes con carga positiva necesarios para coagular los coloides con carga negativa pueden ser aportados por sales metálicas de las cuales las sales de aluminio y de hierro son las más comunes.

El proceso de coagulación se mejora con la adición de polielectrolitos que actúan como una ayuda coagulante en el tratamiento de aguas residuales, estos a veces también se usan como coagulantes primarios, varios estudios, reportan el uso de la combinación de polielectrolitos como coagulantes, en este caso la dosis de poliacrilamida aniónica sería de 20mg/L y la dosis de aluminio se mantiene constante en 750 mg/L, la eficiencia del proceso alcanza un 92 % con dichas cantidades de coagulante y polielectrolito según artículos documentados.

La frecuencia y concentración de la descarga de lodos del tanque clarificador se controla de manera continua mediante un detector de carga que actúa sobre el sistema de bombeo de lodos.

Sin embargo al evaluar los sólidos suspendidos que tienen un valor de 464 mg/L (un valor relativamente bajo) para 750 mg/L de coagulante, es importante tener en cuenta que cuando la dosis de aluminio varía entre 500 y 1000 mg/L, la toxicidad del efluente puede variar entre un rango de 3 a 20% y esta es directamente proporcional al incremento de la concentración del polímero<sup>18</sup>, por tal razón se deja de lado esta propuesta ya que el fin del proyecto es disminuir los contaminantes generados en un proceso de tratamiento de agua residual y al ser bajo el valor de sólidos en el agua a tratar la cantidad de polímero va a ser considerable en el agua reutilizar.

Otra de las alternativas descartadas con el tamaño de los sólidos del agua residual, es el uso de tamiz rotativo, este es un equipo que se encarga de separar sólidos

---

<sup>18</sup> AL-MUTAIRI, Nayef Z. Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant. En: ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY. vol. 65, no. 1, p. 74-83

de líquidos en determinada proporción, permite la retención de partículas flotantes de diferentes tamaños, teniendo en cuenta que hay diversos tamaños de malla, estas tienen la capacidad de filtrar partículas desde  $10\ \mu\text{m}$  ( $1 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$ ) hasta  $5\ \text{mm}$ , generando un gran rendimiento con un tamaño reducido de malla, gracias a su diseño de construcción el equipo cuenta con tambor dinámico y con sistemas de limpieza, anulando la saturación del equipo por exceso de sólido, sin embargo como los tamaños de partícula de los sólidos suspendidos totales son de  $1\ \mu\text{m}$ , en el mercado nacional los tamices rotativos se ofrecen con un tamaño de poro de  $2,5 \cdot 10^{-4}\ \text{m}$ , por tanto sería un gasto energético innecesario el uso de este equipo.

Para la remoción de metales pesados existen diversas tecnologías que hacen frente a este tipo de desechos tóxicos, entre las que destacan: la precipitación, ultrafiltración, ósmosis inversa, intercambio iónico y electrodiálisis. Estos métodos pueden remover hasta el 99 % de la toxicidad de estos metales, sin embargo, y a pesar de su eficacia, algunas son de alto costo de instalación y mantenimiento por ello se hace imposible su aplicación a las pequeñas y medianas empresas.<sup>19</sup>

Actualmente existen diferentes tratamientos de purificación y desinfección del agua, es importante mencionar que como última etapa de las alternativas se pueden manejar los tanques de luz ultravioleta y los de ozonización.

Para la primera tecnología se tiene un tanque con luz ultravioleta, esta es una tecnología importante, generalmente se llaman purificadores de agua, estos funcionan mediante la "radiación" o "iluminación" del flujo de agua con una o más lámparas de silicio cuarzo, con unas longitudes de onda de 200 a 300 nanómetros, la luz ultravioleta elimina las bacterias, esporas, virus y quistes de protozoos de forma instantánea con una eficiencia del 98 % debido a que su longitud de onda es capaz de producir daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos, según investigaciones la máxima adsorción de luz ultravioleta en los microorganismos con una longitud de onda de 540 nm<sup>20</sup>

Los tanques de ozonización eliminan compuestos orgánicos e inorgánicos, reduciendo tóxicos, olores, sabor y turbidez, esta tecnología pertenece a procesos de oxidación avanzada, al ser un gas con una vida media corta se produce in situ

---

<sup>19</sup> TOVAR, Candelaria Tejada; ORTIZ, Ángel Villabona y RANGEL, Víctor Ruiz. Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión. En: INGENIUM. vol. 6, no. 14, p. 11-21

<sup>20</sup> ROBLES, Francisco Osorio; ROJO, Juan Carlos Torres y BAS, Mercedes Sánchez. Tratamiento De Aguas Para La Eliminación De Microorganismos y Agentes Contaminantes. Ediciones Díaz de Santos, 2010.

.El equipo generador de ozono permite el paso de oxígeno a través de dos electrodos separado por un dieléctrico y un espacio de descarga , un voltaje pasa por los electrodos , causando que un electrón fluya a través del espacio de descarga , esos electrones proveen la energía para disociar moléculas de oxígeno y producir el ozono .A pesar de que esta alternativa tienen una eficiencia del 100 % en cuanto a eliminación de carga microbiológicas y contaminantes, tienen un costo muy elevado y teniendo en cuenta que la cantidad de agua a tratar (3 L /s, equivalente a 180 L/min) es significativa se descarta el uso de las mismas por su alto costo dentro de un tratamiento de reúso, ya que el fin mismo del proyecto es el ahorro tanto en recurso hídrico como a nivel de inversión.

En el tratamiento de aguas residuales , la filtración es una operación utilizada para remover sólidos , material no sedimentable , turbiedad , fósforo , DBO, DQO , metales pesados y virus , de tal forma que se pueda asegurar la calidad del efluente del tratamiento , por tal razón las alternativas a proponer se basan en el proceso de filtración ya que son los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales a potables y de mantenimiento, el objetivo básico de la filtración, por lo tanto, es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficacia de los procesos preparatorios. <sup>21</sup>

La filtración puede efectuarse según su carga superficial; baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente; descendente y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por otro lado, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, dependiendo del caudal que va a atravesar el lecho filtrante.

Es importante tener en cuenta que en los filtros de arena de acción rápida con superficie libre, el agua desciende por gravedad a través de la arena a alta velocidad, por tal razón se utilizan para efluentes de aguas residuales provenientes de un tratamiento secundario, en algunas ocasiones es necesario manejar un proceso de coagulación antes de la operación de filtrado para eliminar partículas en suspensión.

---

<sup>21</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica De La Purificación Del Agua. McGraw-Hill, 2000.

Cuadro 19. Clasificación de los filtros según criterio de velocidad, carga y medio.

Velocidad de filtración	Medio filtrante usado	Carga sobre el lecho
Rápidos 120-360 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> día)	Arena	Por gravedad
	Antracita	Por gravedad
	Mixtos : Antracita(35-50cm) Arena (20-35 cm)	Por presión
	Mixtos : Arena , Antracita , Granate	Por presión
Lentos 7-14 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> día)	Arena (h=60-100 cm )	Por gravedad

Fuente: ARBOLEDA VALENCIA, JORGE Teoría y práctica de la purificación del agua

### 3.3 PROPUESTAS PARA LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL Y DOMÉSTICA (EFLUENTE DE LA PTAR)

Se define el tratamiento de filtración como avanzado o de recuperación del agua residual, debido a que posee un nivel de tratamiento más allá del secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los compuestos tóxicos, los excesos de materia orgánica y los sólidos en suspensión o disueltos.

La secuencia de pasos generados en las diferentes alternativas a proponer se encuentra sustentada en parte por las diversas propuestas existentes en otros proyectos para reúso y potabilización, además de compañías importantes a nivel nacional como EPM, prestadora de servicios a nivel de energía, agua y gas que cuenta con diversas plantas de tratamiento, actualmente cuenta con diez plantas de potabilización situadas en el Valle de Aburrá.

3.3.1 Primera propuesta. En los filtros de arena de acción rápida con superficie libre, el agua desciende por gravedad a través de la arena a alta velocidad. Se utilizan para efluentes de aguas residuales provenientes de un tratamiento secundario, y es indispensable un pre-tratamiento con un coagulante para eliminar la mayor parte de las materias en suspensión por asentamiento.

El filtro de arena de acción rápida, se limpia con una corriente de agua en dirección contraria, que expande y lava la arena separando los sólidos acumulados. Estos filtros también pueden ser a presión, estos se utilizan para aguas residuales en general, su velocidad de filtración varía de 5 a 10 m<sup>3</sup> / (h m<sup>2</sup>) y se limpian con agua en contracorriente, cabe resaltar que la elección del tipo de filtro debe basarse en las características del agua y en el costo total del sistema, en ello consiste la primera etapa de esta alternativa.

El agua filtrada pasa a una segunda etapa de adsorción, con un filtro de lecho de carbón activado, estos filtros de carbón activado ya sean en forma granular o de polvo, se han empleado en las plantas de tratamiento de agua para la eliminación de olores y sabores que producen los contaminantes, con la atención que se está prestando a las exigencias de la calidad de los efluentes es una alternativa que se está utilizando bastante.

Posterior al proceso de adsorción en un filtro con lecho de carbón activado el agua es enviada a un filtro con lecho de antracita, este es un material poroso, se han realizado diversas investigaciones y se ha concluido que es un excelente medio para la clarificación del agua en uso potable o industrial. La antracita es un material de color negro, brillante, de alta dureza y presenta el mayor contenido en carbono (95%), debido a la forma de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante, este tipo de lechos permiten mayor flujo, menor caída de presión y un mejor y rápido retrolavado debido a su densidad.

El líquido tratado pasa a un tanque dispuesto con una membrana, donde ocurre un proceso de ósmosis inversa a través de una membrana semipermeable y una bomba de alta presión, la función de la membrana es servir de barrera selectiva, está diseñado por dos columnas que tiene líquidos de diferente concentración, este equipo funciona con una alta presión, este proceso permite la retención de sales disueltas, es capaz de eliminar bacterias, azúcares, proteínas, partículas, colorantes y otros constituyentes disueltos, la tasa a la que el filtrado fluye por la membrana se conoce como tasa de flujo. Con el equipo y membranas existentes las presiones de funcionamiento varían desde la atmosférica a 10000 kN/m<sup>2</sup>. La alimentación a estas membranas debe ser de alta calidad y con ajuste de pH entre 4 y 7,5 para evitar los porcentajes de incrustación.

Como cuarta etapa del proceso se tiene un tanque de cloración, que permite eliminar de formas sencilla y a bajo costo la cantidad de microorganismos presentes, con el fin de reutilizarla para riego agrícola y lavado de zonas externas dentro de la planta. En la tabla 26 se evidencian los porcentajes de remoción de cada una de las etapas del tratamiento, para cada uno de los parámetros fisicoquímicos a evaluar.

Diagrama 7. primera propuesta para tratamiento de agua residual.

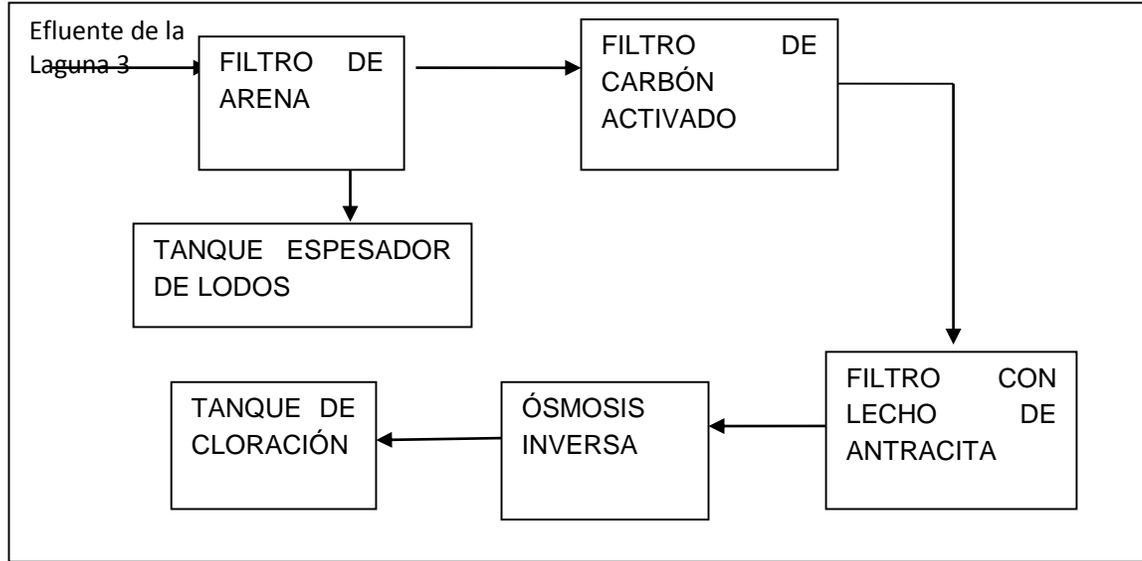


Tabla 7. Remoción teórica por etapas de la primera alternativa propuesta

Parámetro	% de remoción por equipo	Filtro de arena	Filtro de carbón activado , mg/L	Filtro con lecho de Antracita	Membrana de ósmosis inversa	Tanque de cloración % (aguas residuales tratadas)
DBO		71	81	-		-
DQO		69	81	-		-
SST		72	74	57,6		

Tabla 7. (Continuación)

Parámetro	% de remoción por equipo	Filtro de arena	Filtro de carbón activado, mg/L	Filtro con lecho de Antracita	Membrana de ósmosis inversa	Tanque de cloración % (aguas residuales tratadas)	Referencias de los datos de remoción
Turbiedad	74	81	87,5				UN Periódico; La antracita lograría lo impensable: limpiar el río Bogotá. Dec. 10 de 2011
Carga microbiológica	98	-	57,6	-	99		<b>*Tchobanoglus;</b> Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños, descentralizados.
Cadmio, Níquel (ión disuelto)	-	-	-	96 Cd – 97 Ni	-		

3.3.2 Segunda propuesta. En esta propuesta también se tiene una serie de procesos de filtración y adsorción con diferentes lechos filtrantes, aunque variando el método de eliminación de metales antes de finalizar el proceso físico.

La corriente que sale de la última laguna de oxidación con retención de tres días, entra a un filtro de arena como primera etapa.

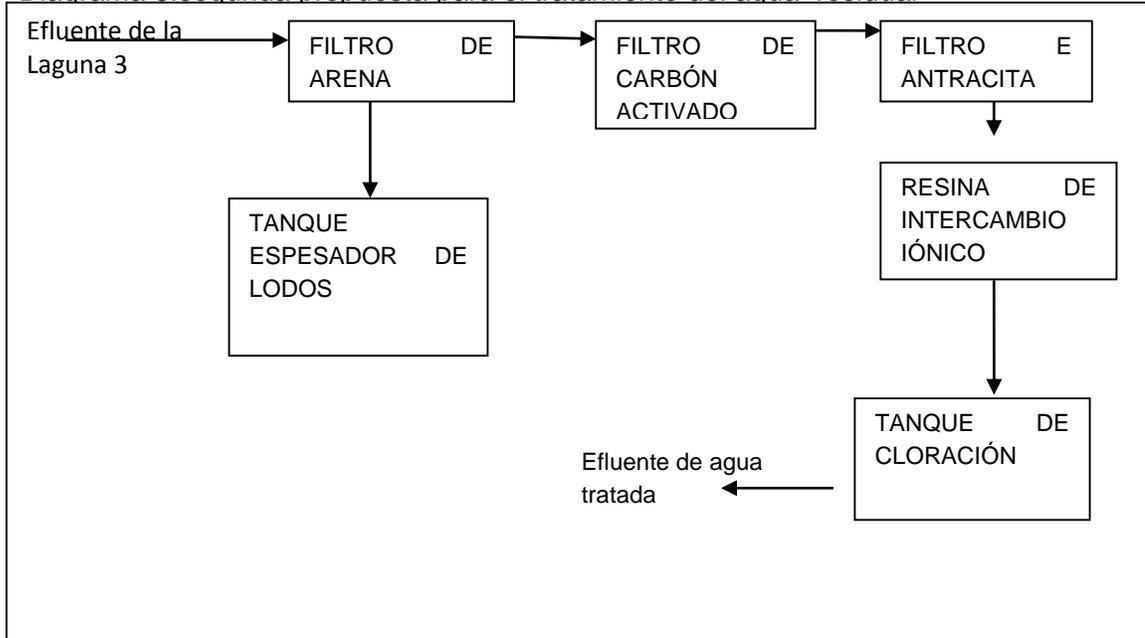
En la segunda etapa del proceso el agua filtrada pasa a un filtro de carbón activado para la eliminación de olores y sabores que producen los contaminantes, puede usarse filtro granular o en polvo, este tiene una vida útil hasta de 30 posibles reúsos.

El filtro con lecho de antracita se dispone como tercera etapa, para retirar los últimos sólidos suspendidos, color y turbidez.

Como cuarta etapa del proceso se tiene el uso de una resina de intercambio iónico, estas ayudan al proceso e ablandamiento del agua y el proceso de desmineralización, eliminando sales y metales disueltos, el agua pasa a través de un lecho de resina (catiónica o aniónica), para este sistema cuando la resina está saturada debe cambiarse por una completamente nueva o regenerada. La eficiencia de este proceso depende de factores como la temperatura, la concentración de iones, la carga electrostática y el tamaño de poro de la resina, estas resinas son pequeñas sustancias granuladas o esféricas insolubles en agua, compuestas por una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz polimérica reticulada por la acción de un agente entrecruzante, estas reaccionan como ácidos, bases o sales, generalmente se utilizan resinas de poliestireno-divinilbenceno.

El cloro es un desinfectante debido a su capacidad de oxidación del amoníaco y materia orgánica presente por tal razón destruye e inhibe el crecimiento de bacterias y algas presentes en aguas residuales también contribuye a la eliminación de amoníaco, es importante determinar las dosificaciones del mismo cuando se usa en estado gaseoso debido a su alta tasa contaminante, por tal razón es más manejable cuando se utiliza como hipoclorito de sodio.

Diagrama 8. segunda propuesta para el tratamiento del agua residual



En la tabla 8 se evidencian los porcentajes de remoción de cada una de las etapas del tratamiento, para cada uno de los parámetros fisicoquímicos a evaluar.

Tabla 8. Remoción teórica por etapas de la segunda alternativa propuesta.

Parámetro	% de remoción por equipo	Filtro de arena	Filtro de carbón activo, mg/L	Filtro lecho de antracita	Filtro con lecho de resina de intercambio iónico	Tanque de cloración % (aguas residual tratada)
DBO		71	81			-
DQO		69	81			-
SST		72	74	57,6		-
Turbiedad		74	81	87,5		
Carga microbiológica				57,6		99

Tabla 9. Referencias específicas de las publicaciones para porcentajes teóricos

% de remoción por equipo Parámetro	Referencias de los datos de remoción
DBO Y DQO	Tratamiento de agua residual municipal por un sistema fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo Lina A.Bernal-Martínez <sup>1*</sup>
SST	UN Periódico; La antracita lograría lo impensable: limpiar el río Bogotá. Dec. 10 de 2011
Turbiedad	UN Periódico; La antracita lograría lo impensable: limpiar el río Bogotá. Dec. 10 de 2011
Carga microbiológica	<b>*Tchobanoglous</b> ; Sistema de manejo de guas residuales para núcleos pequeños, descentralizados.

3.3.3 Tercera propuesta. En esta propuesta se presenta un sistema de tratamiento haciendo uso de filtros con lecho de zeolitas, arena y carbón activado.

El efluente de la planta de tratamientos de agua es llevado por medio de una tubería hacia un filtro con lecho de zeolitas, estas son un medio filtrante nuevo y muy bueno, disponible para la filtración del agua, tienen un mejor comportamiento de remoción en cuanto a los filtros de arena y de carbón, con menores requerimientos de mantenimiento. En cuanto a su aplicación de intercambio iónico, las zeolitas realizan este intercambio en medio acuoso generando un ablandamiento el agua, de tal forma que pueden remover metales disueltos .amonio y metales pesados.

Como segunda etapa se tienen dos filtros verticales de arena a presión los cuales están diseñados para eliminar partículas finas, materia coloidal que ha sido coagulada anteriormente, turbidez, algas, color, materia orgánica en suspensión, y algunos microorganismos. Este equipo de filtración puede trabajar con un solo filtro o con una batería de filtros que funciona en paralelo ya que la función del filtro depende del volumen que se ocupe de este debido a que entre más sólidos retenidos, mayor es la caída de presión dentro del filtro, puesto que los intersticios entre las partículas disminuyen sus tamaños y por tal motivo la velocidad a través de los mismos aumenta, este fenómeno puede ocasionar que los sólidos penetran las capas inferiores del filtro, por ende estos filtros necesitan un sistema de limpieza periódica , para evitar esta acumulación, el cual se puede efectuar invirtiendo el flujo a través de la unidad ya a que de esta manera se logra expandir la arena,

consiguiendo una limpieza por acción hidráulica y por fricción de un grano con el otro.

La arena que se emplea en estos filtros es de menos de 2.0 mm (0,45 – 0,55 mm) de diámetro y está compuesta de un material silíceo con una dureza de 7 en la escala de Mohs y un coeficiente de 1.45<sup>22</sup>.

Después de pasar por los filtro de arena, la corriente el llevada por medio de una tubería a dos filtro de carbón activado dispuestos consecutivamente en los cuales la filtración se da por el paso del líquido a través de un lecho de carbón que se ha seleccionado técnicamente, este carbón activado debe tener una dureza de 2,7 o mayor en la escala de Mohs y su peso específico no debe ser menor 1.40, también la solubilidad en HCL al 40% durante 24 horas debe ser inferior al 55 y no más del 2% debe perderse en una solución al 1% de NaOH. El máximo porcentaje de partículas planas debe ser del 30%.

Una de las principales características debe ser su durabilidad, el carbón activado se usa en tamaños efectivos entre 0,6 y 1.4 mm. Es importante resaltar que el agua debe ser clarificada y filtrada antes de pasarla por el lecho filtrante. Dado que la materia suspendida seria atrapada en el lecho, disminuyendo la porosidad y la superficie activa de este y por ende su capacidad de adsorción.

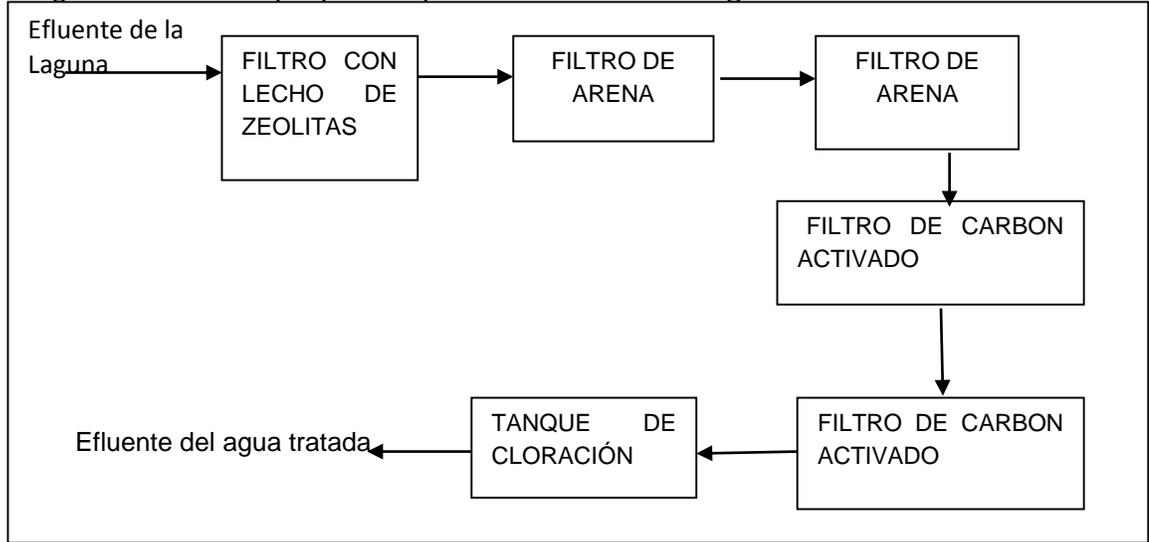
La gran ventaja de estos filtros es la posibilidad de reactivación (hasta 30 veces o más) sin pérdida considerable de su capacidad absorbente, esta reactivación de lleva a cabo calentando el carbón agotado hasta 930°C aproximadamente en una atmosfera aire-vapor (reactivación térmica). Esta operación pude realizarse en hornos de hogar múltiple o en hornos rotativos. Los productos orgánicos absorbidos se queman y el carbón activo se restaura básicamente hasta su1 capacidad inicial de adsorción.

Posterior a la filtración con arena y el proceso de adsorción con filtro de carbón activado el agua pasa a un tanque de cloración con el fin de eliminar totalmente la carga microbiológica de la misma, se plantean dos etapas de filtro de arena y dos de carbón activado ya que teóricamente esta combinación de filtros remueven con mayor eficiencia los contaminantes presen

---

<sup>22</sup> HERNÁNDEZ RAMÍREZ, Jorge Stiven; LEITON SALAMANCA, Wilson Hernando y PÉREZ WALTEROS, Nelson. Propuesta Para El Aprovechamiento De Los Vertimientos Generados De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Carulla Vivero S. A. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2007

Diagrama 9.tercera propuesta para tratamiento de agua residual.



En la tabla 10 se evidencian los porcentajes de remoción de cada una de las etapas del tratamiento, para cada uno de los parámetros fisicoquímicos a evaluar

Tabla 10. Remoción teórica por etapas de la tercera alternativa propuesta

% de remoción por equipo	Filtro con lecho de zeolitas (clinoptilolita)	Filtro de arena	Filtro de arena	Filtro de carbón activado, mg/L	Filtro de carbón activado, mg/L	Tanque de cloración % (aguas residual tratada)
Parámetro						
DBO	-	71	71	81	81	-
DQO	-	69	69	81	81	-
SST	-	72	72	74	74	-
Turbiedad	-	74	74	81	81	

### 3.4 COMPARACIÓN DE LAS PROPUESTAS

Se tienen en cuenta los porcentajes de remoción teóricos de las alternativas planteadas de tal manera que se puedan tener valores cuantitativos de su posible eficiencia total, para ello se calculan estos porcentajes de remoción, para cada una de las alternativas por cada uno de los parámetros a considerar (DBO, DQO, SST, grasas y aceites, turbiedad, carga microbiológica) en el anexo I se muestra el detalle de estos cálculos para la alternativa 1 el cual sigue el modelo e la siguiente ecuación.

Ecuación 10. Remoción Teórica

$$salida = entrada - \frac{entrada * (\% \text{ de remoción teórico})}{100}$$

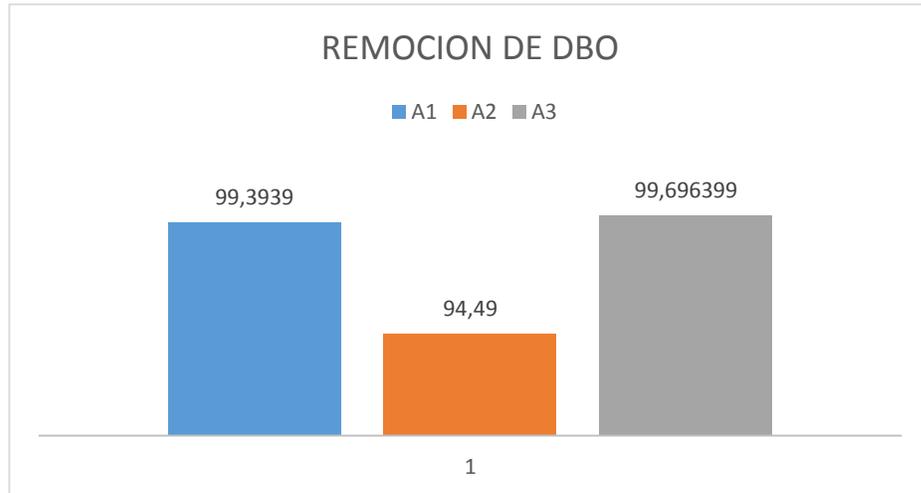
De esta manera se obtiene el porcentaje de remoción teórico de cada alternativa que se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 11. Porcentaje de remoción teórico de cada alternativa

Parámetros a tener en cuenta	Agua a tratar	% de remoción		
		A1	A2	A3
DBO(mg O2/L)	470	99,39	94,49	99,69
DQO (mg O2/L)	706	99,29	94,11	99,65
SST (mg/L)	464	99,53	96,91	99,47
Turbiedad(FAU)	915	99,38	99,38	99,75
Carga microbiológica(NMP en 100 MI)	240000	99,99	99,57	99

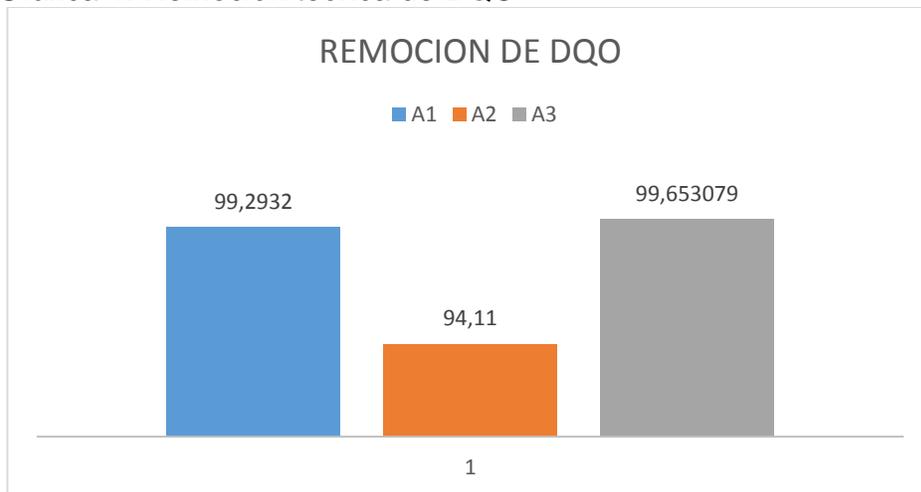
Ya con estos porcentajes de remoción para cada parámetro se comparan los valores por medio de las gráficas 3 a la 7, que corresponden a cada una de las alternativas con el fin de evidenciar por medio de pruebas de turbidez cuál de las alternativas presentará una mayor remoción.

Gráfica 3. Remoción teórica de DBO



Esta grafica muestra que la alternativa con mayor remoción teórica de DBO es la alternativa 3 ya que su remoción es del 99,69% no obstante se evidencia que la alternativa 1 presenta una remoción del 99,3939% y que la alternativa 2 presenta remoción teórica del 94,94%, con estos datos se puede concluir que las 3 alternativas satisfacen la remoción teórica de DBO.

Gráfica 4. Remoción teórica de DQO



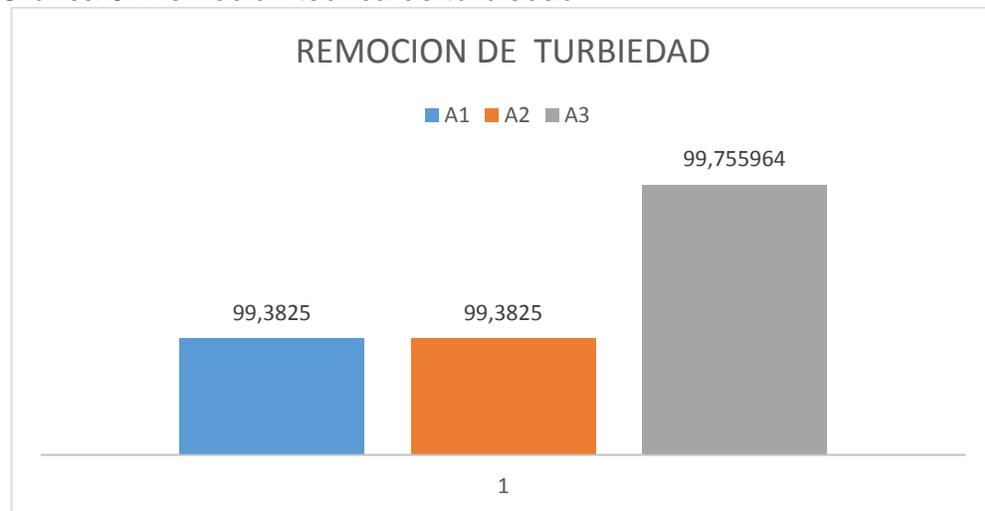
Gracias a este grafico se identifica que la alternativa con mayor remoción teórica de DQO es la 3 presentando una remoción del 99, 65% pero cabe resaltar que la alternativa 1 presenta una remoción teórica de 99,29% y que la alternativa 2 presenta remoción teórica del 94,11% lo que indica que las tres alternativas presentan porcentajes de remoción teóricos altos.

Gráfica 5. Remoción teórica de Sólidos Suspendidos Totales



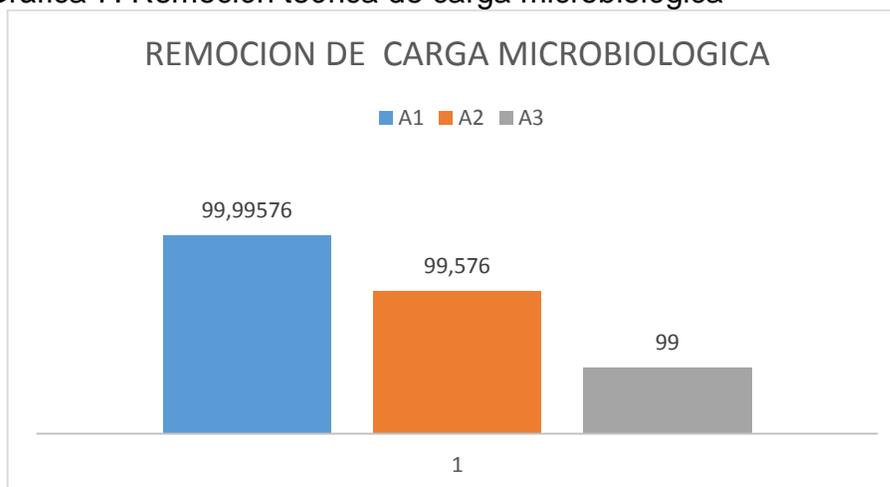
Esta grafica muestra la remoción de sólidos suspendidos totales de cada una de las alternativas, presentando una remoción mayor la alternativa 1 con un porcentaje de remoción teórico de 99,53% cabe resaltar que la alternativa 3 presenta una remoción teórica de 99,47% y que la alternativa 2 presenta una remoción teórica de 96,91%, lo que permite concluir que las tres alternativas presentan porcentajes de remoción teóricos altos para este parámetro.

Gráfica 6. Remoción teórica de turbiedad



Para este parámetro la alternativa que mayor remoción teórica presenta es la 3 con una remoción del 99,75%, pero cabe resaltar que la alternativa 1 remueve teóricamente 99,3825% y la alternativa 2 remueve 99,38%, lo que permite analizar que las tres alternativas presentan remociones teóricas por encima del 99% indicando que cualquiera de las tres que se implemente garantizara una remoción alta de este parámetro.

Gráfica 7. Remoción teórica de carga microbiológica



En el anterior gráfico se evidencia que las tres alternativas presentan remociones teóricas superiores al 99% lo que indica que cualquiera de las tres alternativas que se implemente garantizará una remoción alta de este parámetro.

3.4.1 Análisis de los cálculos realizados para las propuestas. A la hora de analizar los porcentajes de remoción en cada una de las alternativas y etapas del proceso se observan valores muy cercanos, los porcentajes son de remoción teórica, calculados con anterioridad, y al ser las alternativas semejantes en cuanto a su función para obtener los valores deseables, en el momento de tratar el agua se evidencia una remoción superior al 90 %, al tener en cuenta cada uno de los parámetros a evaluar se determinaron los de mayor y menor remoción así.

Cuadro 20. Etapas con mayor y menor remoción teórica de las alternativas

Parámetro a evaluar	Etapas de mayor remoción	Etapas de menor
DBO	Alternativa 1	Alternativa 2
DQO	Alternativa 3	Alternativa 2
SST	Alternativa 1	Alternativa 2
Turbiedad	Alternativa 3	Alternativa 1
Carga microbiológica	Alternativa 1	Alternativa 3

Como se puede evidenciar en la tabla 30, la alternativa 1 presenta una mayor remoción teórica en parámetros como DBO, SST y carga microbiológica con respecto a las demás alternativas, pero se evidencia que es la alternativa con

menor remoción de turbiedad, de igual manera se observa que la alternativa 2 es la que presenta una menor remoción teórica en parámetros como DQO, DBO, SST. Cabe aclarar que todas las alternativas presentan remociones teóricas superiores al 90%, por tal motivo no es válido descartar alguna de las alternativas por este indicador; con el fin de decidir que alternativa es la mejor se procede a desarrollar una matriz de selección que permita establecer la mejor alternativa para el fin de este proyecto.

#### 4. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA, SEGÚN MATRIZ DE SELECCIÓN

En la matriz de selección se tienen en cuenta los factores más importantes que pueden intervenir en un proceso como son los técnicos, económicos, ambientales y algunos de carácter legal, además de las características del agua residual a tratar con relación a la concentración de sustancias tóxicas, contaminantes y de la cantidad microbiológica de la misma, con el fin de reutilizar el recurso hídrico, proteger la salud pública, mejorar la calidad del medio ambiente y el equilibrio ecológico.

El planteamiento de un proceso de tratamiento se determina de acuerdo a la calidad que se desea obtener (reutilización del agua de la PTAR), de esta forma se establece el porcentaje de remoción de contaminantes que el proceso debe cumplir, la compañía desea ser sostenible en cuanto al reúso del recurso hídrico, teniendo en cuenta los fenómenos ambientales presentados en la actualidad y el costo del recurso que va en aumento por su escasez.

Los requerimientos de materias primas se darán teniendo en cuenta la alternativa de reutilización seleccionada (reactivos químicos), así mismo como el uso de equipos, disponibilidad de equipos en la región (Bogotá D.C) y su costo, además de la eficiencia del proceso

Para tener en cuenta la mayor cantidad de criterios y parámetros a la hora de escoger una alternativa, van a separarse por ítems los criterios, se calificarán de 1 a 3, siendo 1 el calificativo más bajo y 3 el más alto, esto, teniendo en cuenta la información recopilada de diversas fuentes de tratamiento de aguas residuales, ingeniería de diseño, criterios ambientales, normativa ambiental y respectivos rangos de operación.

Tabla 12. Rango de calificación de criterios

Rango	Calificativo
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

Los criterios se clasifican en aspectos técnicos y el aspecto comercial - legal, siendo los criterios a especificar los de mayor relevancia la hora de decidir cuál es la alternativa más conveniente para empresa tanto en términos de inversión como de eficiencia.

En trabajo conjunto, el comité de ingeniería y la junta administrativa de la compañía se debatió la importancia de cada uno de los criterios a tener en cuenta en la matriz de selección, el porcentaje de importancia indica las necesidades primordiales del frigorífico que como se evidencia a continuación tiene que ver con la calidad del agua tratada, sus respectivos porcentajes de remoción y los costos que esto implique.

#### 4.1 ASPECTOS TÉCNICOS

4.1.1 Eficiencia de remoción. Esta eficiencia implica usar la secuencia de operaciones unitarias con la mayor reducción de parámetros como DBO , DQO , sólidos suspendidos totales , grasas y aceites , además de carga microbiológica y metales pesados, que de no ser removidos conforme a las leyes vigentes representan un alto riesgo de contaminación para el reúso del agua con uso doméstico y fines de lavado teniendo en cuenta su posible contacto con los alimentos cárnicos ,además está directamente ligada con la disminución del impacto ambiental generado por el efluente que es vertido al Río Fucha y que será tratado con la alternativa a implementar, teniendo en cuenta que la compañía plantea su deseo de ser amigable con el medio ambiente. Por todo lo anteriormente mencionado se califica este criterio con un valor de 25 %.

4.1.2 Disponibilidad de equipos. Este criterio hace referencia a la facilidad para adquirir cierto equipo, el proceso se hará más complejo en el momento de solicitar un equipo a otro país, lo que implicaría un tiempo extra y costos adicionales que la compañía desea evitar. Se califica este criterio con el 10% teniendo en cuenta que para la compañía los costos son relevantes, más no lo más importante.

4.1.3 Gasto energético. Teniendo en cuenta el constante crecimiento a nivel industrial y con ello el consumo y agotamiento de los recursos , es una tarea importante reducir el consumo de energía , para reducir el impacto ambiental y económico que esto genera , se hace relevante desarrollar sistemas de ahorro con el fin de lograr un verdadero desarrollo sostenible , en cuanto a las alternativas puntualmente planteadas un aumento en el gasto de temperatura, en implementación de bombas (diferenciales de presión muy altos) y uso de corriente eléctrica tendrá un impacto tanto a nivel ambiental como de costo del uso de la alternativa, por tal razón se califica este criterio con un 10 %.

4.1.4 Requerimiento de área. El área disponible para este proyecto es un factor de baja relevancia más no despreciable, debido a que hay un terreno disponible para la implementación de la alternativa, sin embargo el ahorro de espacio es importante teniendo en cuenta posibles modificaciones o ampliaciones posteriores, se califica con un 5%.Actualmente la compañía cuenta con 2500 m<sup>2</sup> disponibles para la implementación de la alternativa.

4.1.5 Vida útil. Este criterio hace referencia a la durabilidad de equipos, materias primas y los reactivos, la vida útil viene dada por las especificaciones técnicas de los distribuidores y/o fabricantes de los mismos, teniendo en cuenta que las materias primas y/o equipos utilizados dentro del proceso pierdan su utilidad deben ser cambiados o regenerados, esto implicaría detener el proceso de tratamiento, el criterio se califica con un 10%.

## 4.2 ASPECTO COMERCIAL LEGAL

4.2.1 Costo de inversión. Representa los factores técnicos, cuantificables en dinero, que intervienen en la producción o elaboración de un proyecto, equipos, maquinaria, herramientas, materias primas, reactivos en general. La inversión a nivel económico es uno de los más decisivos para la compañía por ello se califica con un valor del 20 %.

4.2.2 Costo de mantenimiento. Es el precio pagado por conceptos de las acciones realizadas, para conservar o restaurar un bien o un producto, a nivel industrial, para las reparaciones preventivas y predictivas de un equipo o proceso, puede afirmarse que el costo aproximado del mantenimiento anual de una planta de proceso es equivalente de 2% al 3 % del costo de los equipos incluyendo su instalación, este valor es independiente al costo de los terrenos a usar, permisos, obras externas y otros parámetros. La inversión a nivel económico es uno de los más decisivos para la compañía por ello se califica con un valor del 20 %.

A continuación se generan unas tablas donde se especifican los rangos para calificar los criterios de acuerdo a cada alternativa planteada.

Tabla 13. Rangos de calificación de criterios de cada alternativa aspectos técnicos.

Calificativo	Aspectos técnicos				
	Eficiencia de remoción %	Disponibilidad de los equipos	Gasto energético	Requerimiento de área	Vida Útil
1	< 69	Solicitud de importación	Más de 20 kw/ h	Mayor a 2500 m <sup>2</sup>	< 3 años (baja)
2	70-85	Disponible en el país	>15 kw/h	Entre 2000 y 2499 m <sup>2</sup>	>3 y < 5 años (media)
3	>85	Disponible en Bogotá	<14,9Kw/h	Menor a 2000m <sup>2</sup>	>5 años

Tabla 14. Rangos de calificación de criterios de acuerdo cada alternativa aspectos comercial.

Calificativo	Costo de inversión	Costos de mantenimiento
1	>500 millones	> 9 millones
2	>300 y < 500 millones	>6 y < 8,9 millones
3	>= 299 millones	<3 millones

Tabla 15. Matriz de selección

		Prioridad (%)	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Aspectos técnicos	Eficiencia de remoción	25	3	3	3
	Disponibilidad de equipos	10	1	2	2
	Gasto energético	10	1	3	2
	Vida útil	10	1	3	3
Aspecto comercial y legal	Requerimiento de área	5	2	1	1
	Costo de inversión	20	1	2	3
	Costo de mantenimiento	20	1	2	3
			1,75	2,4	2,7

Por medio de la matriz de selección se concluye que la alternativa 1 queda descartada ya que presenta un valor de calificación de 1,75 el cual se considera bajo, este valor se debe a que los equipos de osmosis inversa que se emplean en esta alternativa son costosos y por ende su mantenimiento lo es, al igual que el gasto energético, esto hace que la alternativa tenga el puntaje más bajo con respecto a las demás; por otra parte las alternativas con mayor puntaje son la alternativa 2 dando un valor de 2,4 y la alternativa 3 con un valor de 2,7 teniendo en cuenta que el valor de calificación establecido como alto es 3, se puede concluir que la mejor alternativa es la 3, no obstante teniendo presente que la alternativa 2 presenta un valor alto y que la diferencia entre estas dos alternativas no es elevada, se concluye que por medio de

la matriz no se puede definir cuál de estas dos alternativas es la mejor para el fin de este proyecto por tal motivo se llevan a experimentación ambas alternativas con el propósito de comprobar cuál de estas presenta una mayor eficiencia en remoción y definir que alternativa es la adecuada a implementar.

## 5. EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA POR MEDIO DE UN DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo se describe el desarrollo experimental que se lleva a cabo para establecer que alternativa es la de mejor remoción para los fines de este proyecto, se realizan una serie de pruebas preliminares, que se describen en el numeral 5.1, con el fin de definir la altura de cada lecho filtrante, y la demanda de cloro, terminadas estas pruebas, se realiza una simulación de las alternativas a nivel experimental, se envían a análisis de laboratorio el efluente de cada alternativa, para evaluar la remoción de contaminantes.

### 5.1 PRUEBAS PREELIMINARES

Con el fin de verificar las condiciones más favorables en cuanto a remoción de contaminantes, color y olor, se decidió llevar a cabo la segunda y tercera alternativa, ya que según la matriz de selección alcanzaron puntajes muy cercanos de 2,5 y 2,7 respectivamente.

Teniendo en cuenta que la adsorción es un fenómeno que se da cuando átomos, iones o moléculas son atrapados en la superficie de un material, se basa en este fundamento para la elaboración de dichas pruebas buscando generar curvas de adsorción las cuales se determinan de manera experimental colocando en contacto el agua a tratar con el material adsorbente en este caso los diferentes lechos filtrantes, en diferentes concentraciones de lecho filtrante con el fin de elaborar estas curvas y determinar el punto de saturación de dicho lecho.

Sabiendo que la presencia de sólidos suspendidos inhibe que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra, la turbidez puede determinarse visualmente y rectificarse a través de un colorímetro. La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia, en este caso las partículas son nanométricas. Este procedimiento es calibrado usando estándares de turbiedad de formación, las lecturas obtenidas del colorímetro se obtienen en unidades en términos de FAU (Formazin Attenuation Units).

5.1.1 Test de jarras. Como primera prueba preliminar se realizó un test de jarras en el que se mantuvo constante la cantidad de agua a tratar (efluente de la laguna de oxidación, etapa final de la PTAR), variando la cantidad de material filtrante, esto con el fin de determinar la relación adsorbato, adsorbente y así llevar a cabo el montaje con los lechos filtrantes correspondientes.

La turbiedad de la muestra problema es de 660 FAU y lo ideal es que a medida que ocurra el contacto de la muestra con el medio filtrante se reduzcan parámetros de

decisión rápida como color y turbidez ; que permitan determinar la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, es importante resaltar que previo a las pruebas se hizo un lavado de los materiales (arena , antracita y zeolita ) con el fin de eliminar suciedad con la que vienen, simulando un efecto de retro-lavado que usan algunos equipos a la hora de realizar este tipo de filtración , los parámetros fijos en las pruebas fueron el tamaño de partícula de cada uno de los lechos filtrantes y el pH= 7 , valor del efluente de la planta de tratamiento.

Al obtener los resultados poco favorables en el test de jarras decidió dejarse la muestra de agua en contacto con los diferentes lechos filtrantes en agitación constante a 60 rpm durante 24 horas con el fin de observar el efecto de un mayor tiempo de contacto entre el lecho y la muestra. Al evaluar la turbidez en el colorímetro se indica una reducción en el valor de alrededor de 50 a 60 % en cada uno de los montajes, los resultados de esta experimentación se muestran en el anexo C.

De forma posterior se llevó a pequeña escala la secuencia de filtros para cada alternativa, los filtros se armaron con botellas PET de 280 mL y un tapón de algodón para evitar que se escapara el medio filtrante.

Con el fin de observar el efecto de variación de la altura de los filtros se modificó la misma en un aumento gradual de un centímetro por experimento, usando un mismo volumen de 600 mL de muestra de agua en cada uno, además de esto se determinó la altura a la que no hay cambio en el resultado de la turbidez, esto indica que el lecho está saturado y no indica variación de dicha medida, esta prueba preliminar determina la altura más favorable de trabajo para cada lecho filtrante.

A continuación se muestran las condiciones en las que se llevó a cabo la primera experimentación; altura de los lechos y concentración de hipoclorito de sodio al 15 %, para evidenciar la remoción de sólidos suspendidos se usa un colorímetro digital, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 16. Condiciones primera experimentación

Alternativa 2	Alternativa 3	Altura del lecho filtrante (cm)	mg/L Cloro	Turbidez en la Alternativa 2 (FAU)	Turbidez en la Alternativa 3 (FAU)
Arena	Zeolita	5	-	644	353
Carbón activado	Arena	5	-	474	173
Antracita	Arena	5	-	341	118
Resina catiónica	Carbón	5	-	198	103
	Carbón	5	-	-	96

Tabla 16. (Continuación)

Alternativa 2	Alternativa 3	Altura del lecho filtrante (cm)	mg/L Cloro	Turbidez en la Alternativa 2 (FAU)	Turbidez en la Alternativa 3 (FAU)
Cloración (Hipoclorito de Sodio )	Cloración	-	1mg /L	82	80

5.1.2 Alternativa 2. Este alternativa consta de cinco etapas enunciadas en su orden correspondiente a continuación ,filtro de arena sílicea, filtro de carbón activado, filtro de antracita, filtro con una resina de intercambio catiónica (Amberlite IR 120), y por último un tanque de cloración, en primera medida para la prueba preliminar , se toma la turbidez de la muestra por medio del colorímetro , el dato que reporta el equipo es de 660 FAU, en seguida se comienza a variar la altura de los lechos filtrantes y se hace pasar una muestra de agua a tratar de 600 mL por cada lecho, se mide el tiempo y se registra la turbiedad a la salida de cada filtro , a continuación se muestran los resultados obtenidos de dicho procedimiento.

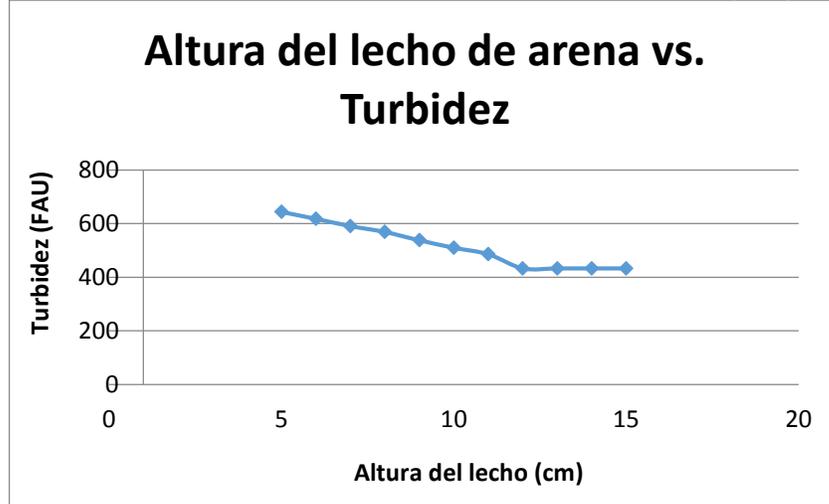
Imagen 17. Pruebas preliminares alternativa 2



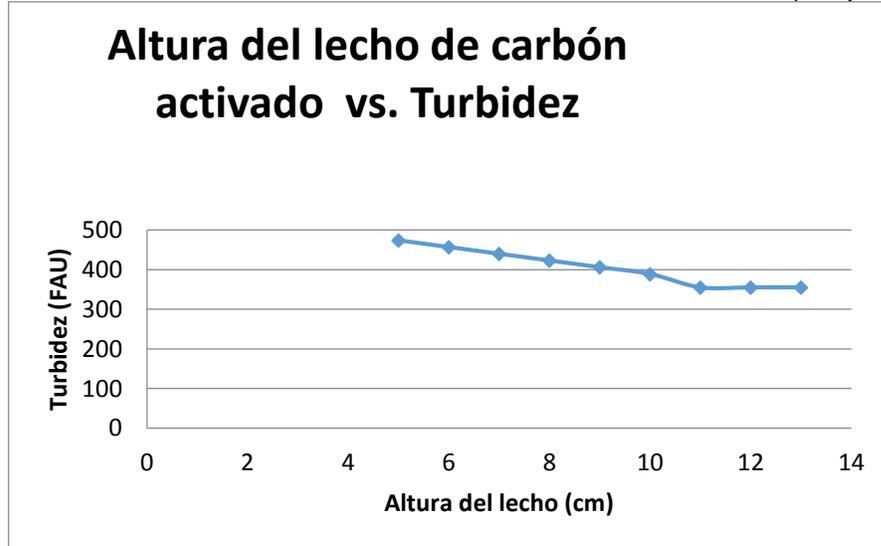
En la imagen 18 se muestra los filtros realizados para el procedimiento mencionado anteriormente, con el fin de definir la altura de cada lecho filtrante se simula un filtro a pequeña escala con botellas pet y un tapón de algodón para cada alternativa

De la gráfica 8 a la 11 se evidencia el comportamiento del valor de turbidez con el cambio de altura de los diferentes lechos, en la mayoría de los casos el valor de los sólidos suspendidos disminuye conforme aumenta la altura de los lechos, sin embargo para una muestra de 600 mL filtrada, el valor de turbiedad medida en el colorímetro se estabiliza a unas alturas determinadas en el punto de equilibrio y especificadas en la tabla 40, esta se van determinando durante el ensayo. Cuando el valor de turbidez se vuelve constante se hace el experimento con uno o dos centímetros más de material filtrante para tener la certeza de que no se generará mayor variación.

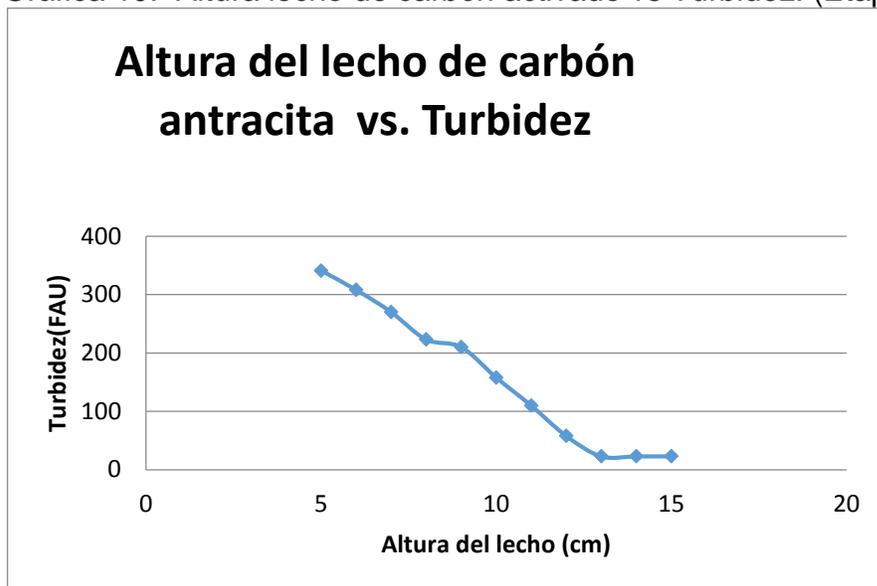
Gráfica 8. Altura lecho de arena sílicea vs turbidez (Etapa 1)



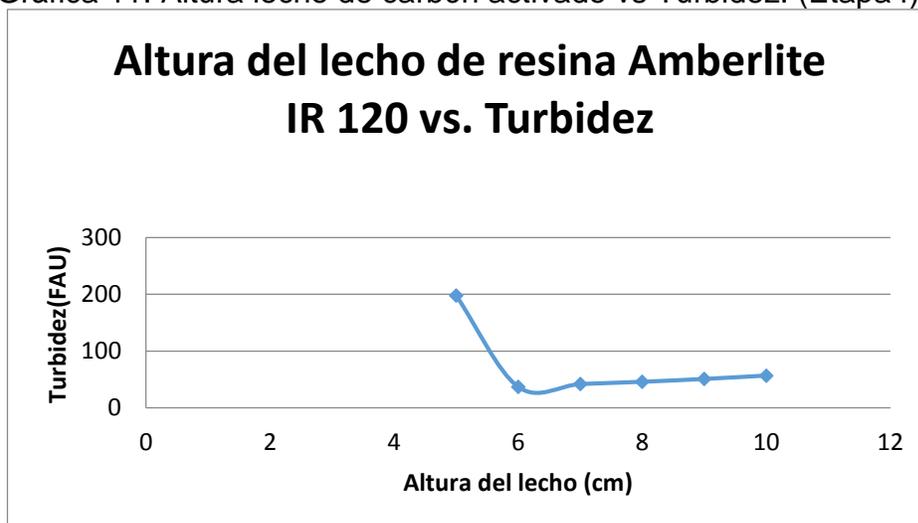
Gráfica 9. Altura lecho de carbón activado vs Turbidez. (Etapa2)



Gráfica 10. Altura lecho de carbón activado vs Turbidez. (Etapa3)



Gráfica 11. Altura lecho de carbón activado vs Turbidez. (Etapa4)



Las alturas definidas para cada una de las etapas se presentan a continuación

Tabla 17. Altura definida de los lechos filtrantes para la alternativa 2

Lecho filtrante	Altura definida (cm)
Arena sílicea	12
Carbón activado	11
Antracita	13
Resina de intercambio catiónica (Amberlite IR 120)	6

Ya definida la altura de los lechos filtrantes para cada etapa de esta alternativa se procede a realizar una cloración con el fin de llevar a cabo la desinfección del agua para esto se realiza una curva de cloración que permitirá conocer la cantidad de cloro que se debe agregar.

5.1.3 Alternativa 3. Este alternativa está conformada por seis etapas , que se enuncian a continuación , filtro de zeolita, filtro de arena silíceo , filtro de arena silíceo nuevamente , filtro de carbón activado , como quinta etapa nuevamente un filtro de carbón activado y por ultimo un tanque de cloración, como primera etapa de la experimentación se toma la turbidez de la muestra a tratar de 660 FAU, en seguida se comienza a variar la altura de los lechos filtrantes y se hace pasar una muestra de agua a tratar de 600 mL por cada lecho, se mide el tiempo y se registra la turbidez a la salida de cada filtro a continuación se muestra los resultados obtenidos de dicho procedimiento.

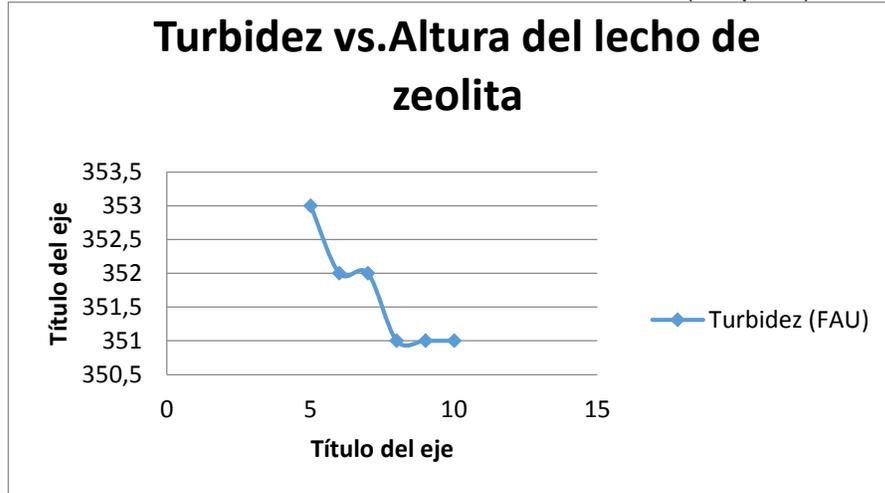
Imagen 18. Pruebas preliminares alternativa 3



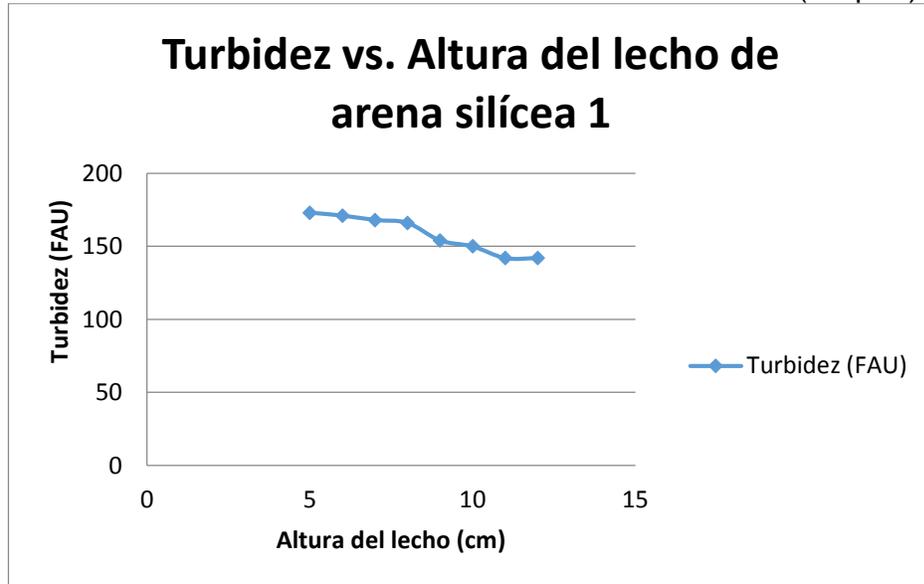
En la imagen 19 se presnetan se evidencia los filtros realizados a pequeña escal para definir la altura de los lechos filtrantes que se empleanen la altenativa 3

De la gráfica 12 a la 16 se evidencia el comportamiento el valor de turbidez con el cambio de altura de los diferentes lechos, en la mayoría de los casos el valor de los sólidos suspendidos disminuye conforme aumenta la altura de los lechos , sin embargo para una muestra de 600 mL el valor de turbiedad medida en el colorímetro se estabiliza a unas alturas determinadas durante el ensayo , a continuación se evidencian gráficas que correlacionan la variación de la altura del lecho respecto a la turbidez medida.

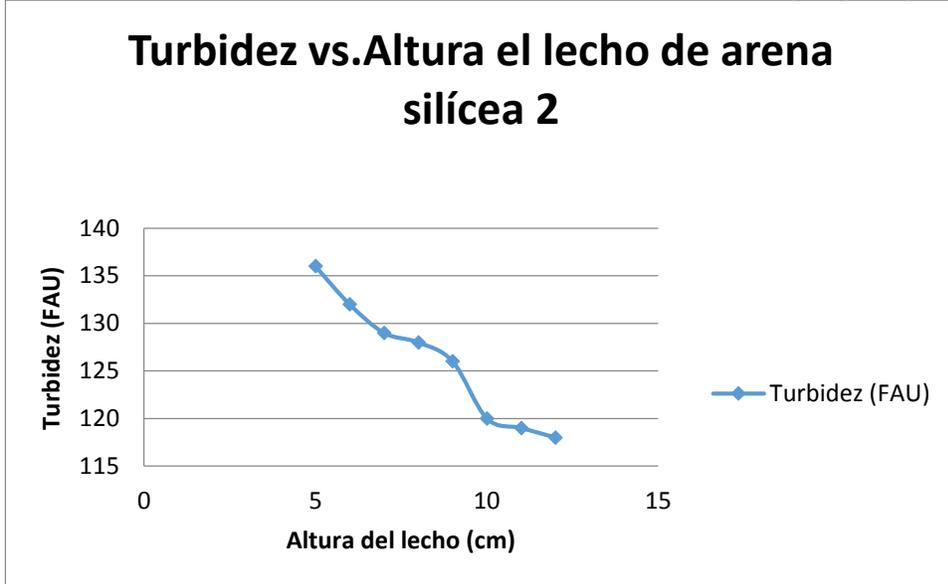
Gráfica 12. Altura lecho de zeolita vs Turbidez. (Etapa 1)



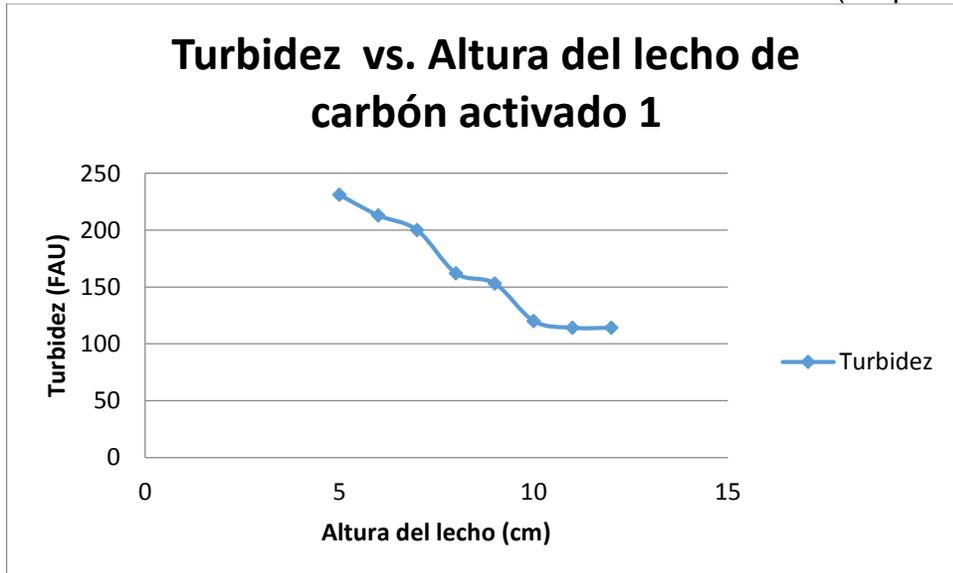
Gráfica 13. Altura lecho de arena sílicea 1 vs Turbidez. (Etapa2)



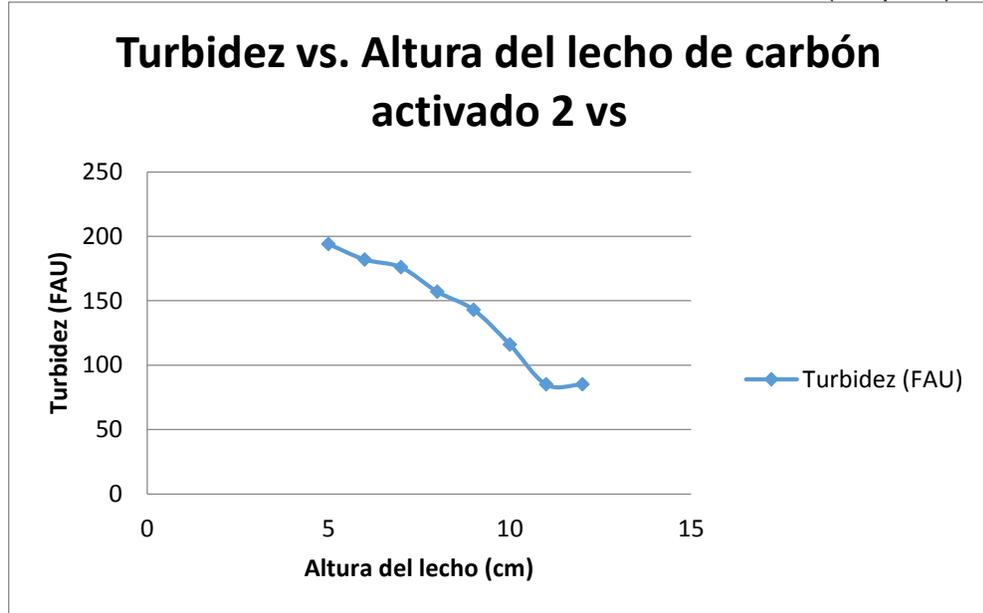
Gráfica 14. Altura lecho de arena sílicea 2 vs Turbidez. (Etapa 3)



Gráfica 15. Altura lecho de carbón activado 1 vs Turbidez. (Etapa 4)



Gráfica 16. Altura lecho de carbón activado 1 vs Turbidez. (Etapa 4)



Cada una de las alturas determinadas muestra el punto que indicó la mayor remoción de contaminantes, en términos de turbidez obtenidos en el colorímetro digital.

En la siguiente tabla se presenta las alturas definidas para cada lecho filtrante luego de que ya no varía la turbidez indicando que los lechos se han saturado.

Tabla 18. Altura definida de los lechos filtrantes para la alternativa 3

Lecho filtrante	Altura definida (cm)
Zeolita	8
Arena sílicea 1	11
Arena sílicea	11
Carbón activado 1	11
Carbón activado 2	11

Imagen 19. Resultados pruebas preliminares alternativa 2 y 3



En la imagen 20 se presenta los diferentes cambio de color después de realizar todo el proceso de filtrado para cada alternativa mientras se varia la altura de cada lecho filtrante (Alternativa 2 imagen de la izquierda. Alternativa 3 imagen de la derecha)

5.1.4 Análisis de las pruebas preliminares. El resultado de estas pruebas se debe al proceso de adsorción que se llevó a cabo a un pH de 7 , cuando el material deja de tener la eficiencia inicial y deja pasar agua oscura se concluye que se llega a un punto de equilibrio donde ya no retiene más contaminante.

La altura a la que se estabiliza la remoción de turbidez en cada uno de los lechos depende de los sitios activos que presenta cada material. Las impurezas o contaminantes son adsorbidos de forma más rápida y eficiente en la fase inicial del experimento, esto se debe a que el material tiene todos sus sitios activos disponibles para retener sólidos suspendidos o partículas coloidales presentes , las capas superiores del filtro son las que se saturan con mayor rapidez al tener contacto directo con el agua residual , por tal razón el agua inicialmente filtrada presenta su color más claro , a medida que transcurre el tiempo la parte superficial del filtro se ha saturado y es el material inferior del lecho el que continua con el proceso de remoción , iniciando nuevamente el proceso de adsorción , a medida que ocurre el proceso de filtración, el tiempo de retención del agua dentro del filtro se hace mayor y el color del efluente se torna más oscuro , en este caso desde una tonalidad verde clara cuando atraviesa los lechos de carbón a un amarillo tierra claro en los lechos de arena .

La altura en la que se presenta saturación es el punto de operación para el que se ha encontrado el punto de equilibrio dentro del lecho filtrante, esto indica que la adsorción en función del tiempo será mínima.

La operación de adsorción en el agua puede verse modificada por diversas variables, los factores con mayor influencia en la eficiencia del proceso son;

concentración del soluto, pH del agua, mecanismo de la velocidad de adsorción, naturaleza de las condiciones de equilibrio, tamaño de partícula del lecho, así como la altura del mismo.

Como parte concluyente el análisis a medida que se disminuye la altura del lecho filtrante y se aumenta el caudal de agua residual, se reduce notablemente la eficiencia del proceso.

## 5.2 EFICIENCIA EXPERIMENTAL DE LOS FILTROS

Con el fin de determinar la eficiencia real de cada filtro se emplea la siguiente expresión.

Ecuación 11. Eficiencia de cada filtro

$$Eficiencia (\%) = \left( \frac{Turbiedad (afluente) - Turbiedad (efluente)}{Turbiedad (afluente)} \right) * 100$$

Muestra de cálculo para cada lecho

Con los datos de turbidez obtenidos en las pruebas preliminares, se realiza el cálculo de eficiencia de cada una de las etapas las alternativas, los valores de eficiencia de cada uno de los lechos se muestra a continuación

Tabla 19. Eficiencia de los lechos filtrantes de la Alternativa 2

Lechos filtrantes	Eficiencia
Arena sílice	34,39
Carbón activado	18,01
Antracita (carbón )	93,52
Resina catiónica	-

Tabla 20. Eficiencia de los lechos filtrantes de la Alternativa 3

Lechos filtrantes	Eficiencia
Zeolita	46,82
Arena 1	59,54
Arena 2	16,2
Carbón 1	4,2
Carbón 2	57,5

Como se observa en las anteriores tablas las etapas con mayor eficiencia en cuanto a remoción de sólidos y cambio de color son el carbón antracita y la arena, en la alternativa 2 y 3 respectivamente, por el contrario la resina catiónica Amberlite IR 120 no presenta eficiencia alguna respecto a la disminución de turbidez ya que su función principal es remover los iones de cadmio y Níquel del agua tratada.

### 5.3 DEMANDA DE CLORO

Ya definida la altura de los lechos filtrantes para cada etapa de esta alternativa se procede a realizar una cloración con el fin de llevar a cabo la desinfección del agua para esto se realiza una curva de cloración que permitirá conocer la cantidad de cloro que se debe agregar.

La determinación de cloro residual es de vital importancia para la desinfección de las aguas potables y residuales, el valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano debe estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L según el artículo noveno de la resolución 2115, el valor máximo permisible oscila entre 0.9 a 1 mg/L de cloro, la dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el cloro residual libre resulta de pruebas frecuentes de demanda de cloro.

El cloro combinado reacciona con amonio, nitrógeno orgánico del agua y otras sustancias orgánicas, generando la formación de cloraminas y otros compuestos orgánicos derivados, oxidando virus, bacterias y sustancias orgánicas, el cloro residual libre está constituido esencialmente por el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito; el cloro residual combinado lo forman generalmente las cloraminas.

El agua tratada no debe contener cloro en exceso, ya que se pueden impartir olores extraños, además de generar una mayor contaminación en el agua vertimiento de agua al alcantarillado, para ello se utiliza un método bastante sensible: los métodos más sensibles son los colorimétricos, por lo que en este caso se emplean la técnica de DPD, ya que este compuesto reacciona con el cloro libre para producir un complejo de color rosa cuya intensidad es directamente proporcional a la concentración de cloro libre o residual.

Las variables más importantes a tener en cuenta:

- Periodo de contacto:  $T_c$  (min) El tiempo de contacto entre el cloro y el agua fue de 20 minutos, el mínimo necesario para la destrucción de los microorganismos patógeno, a temperatura ambiente (25°C).
- pH: El pH es un factor de mucha importancia en la cloración de las aguas, la desinfección es más eficiente a un pH bajo, aunque en la práctica se lleva a cabo a 7.

PROCEDIMIENTO : Se toman muestras de 100 ml de agua y se colocan en varios beakers con capacidad de un litro, se les agregan desde 0,06 ml hasta 0,18 ml de hipoclorito de sodio al 15%, se deja reposar durante 20 min para que suceda el proceso de oxidación de materia orgánica, posteriormente por el método de DPD se mide el cloro libre, agregando una papeleta de solución de difenil-p-fenilen-diamina, se agita vigorosamente durante 20 segundos y se deja reposar durante 35 segundos para evitar que la espuma modifique o interfiere en la toma del dato de cloro libre, la solución adquiere un color rosa en la presencia de cloro libre. El color de la muestra con DPD se compara con la escala de concentración de cloro y de esta manera se estima su concentración, la escala de color varía desde un rosa pálido para cloro libre en agua potable a un rojo cereza intenso cuando el cloro se encuentra en exceso, como se evidencia a continuación

Imagen 20. Escala de colores en la prueba de cloro residual

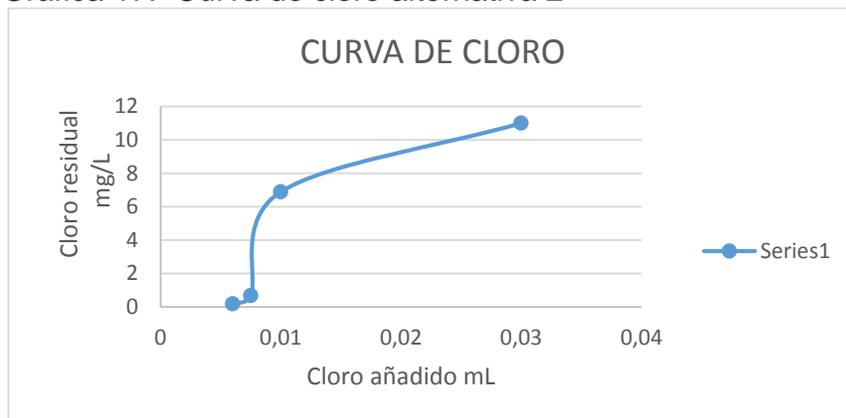


En la imagen 21 se observa los diferentes tonos de rosa que se obtiene al realizar las pruebas de cloro en donde el rosa intenso de la tercera y cuarta imagen representa la alta concentración de cloro residual y el rosa claro de la primera y segunda imagen representan menor concentración de cloro residual, esta coloración está directamente relacionada con la materia orgánica oxidada en cada una de las muestras.

Para cada una de las alternativas llevadas a experimentación se realiza el procedimiento descrito anteriormente

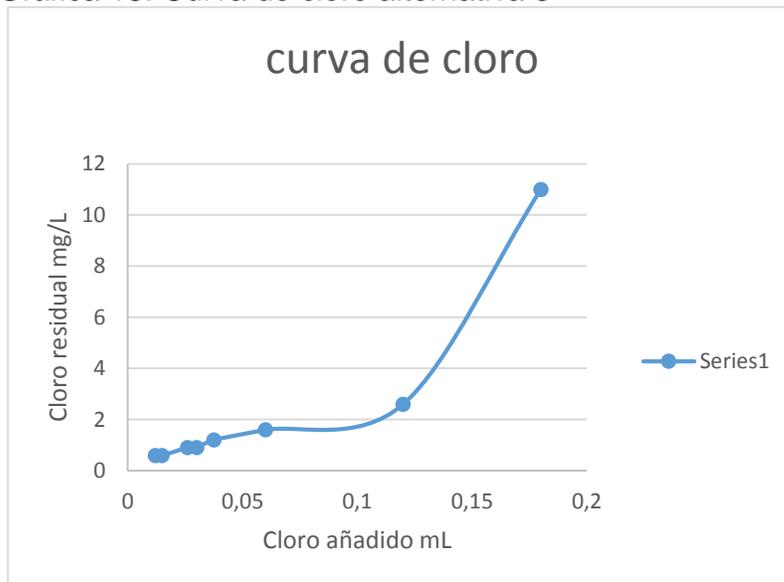
5.3.1 Alternativa 2. Para determinar la demanda de cloro en esta alternativa se varía la concentración de cloro añadido desde 0,006 ml hasta 0,03 ml y se mide el cloro residual por medio del colorímetro, de esta manera se obtiene el siguiente gráfico

Gráfica 17. Curva de cloro alternativa 2



5.3.2 Alternativa 3. Para determinar la demanda de cloro en esta alternativa se varía la concentración de cloro añadido desde 0,012 ml hasta 0,18 ml y se mide el cloro residual por medio del colorímetro, se esta manera se obtiene el siguiente grafico.

Gráfica 18. Curva de cloro alternativa 3



Como se puede observar en las gráficas anteriores no se presenta la tendencia general de una curva de cloración, esto es posible que suceda, debido a que el agua a tratar presenta una muy baja concentración de materia orgánica o compuestos nitrogenados debido a que se le ha realizado unos procesos de filtración previos que garantizan la reducción de estos parámetros, por tal motivo lo

que se busca al realizar esta curva es encontrar la concentración de cloro añadido que garantice una concentración de cloro residual que es el que realmente va actuar como agente desinfectante, para la alternativa 2 es una concentración de cloro añadido de 0,0075 mL para 100 mL de agua a tratar obteniendo un cloro residual de 0,7 mg/L y para la alternativa 3 el cloro añadido es de 0,012 mL para una muestra de 100 mL de agua ya filtrada ,se obtiene un cloro residual de 0,6 mg/L, con estas concentraciones de cloro añadido se garantiza que la concentración de cloro residual esté dentro de los parámetros permitidos para agua potable.

Tabla 21. Concentración de cloro para cada alternativa

Alternativa	Cloro residual	Cloro añadido
Alternativa 2	0,7 mg/L	0,0075 mL
Alternativa 3	0,6 mg /L	0,012 mL

#### 5.4 DESARROLLO EXPERIMENTA

Teniendo las condiciones de operación ya definidas se escala la experimentación en recipientes con capacidad de 5 litros, cada una de las alternativas se lleva a cabo tal cual se hizo en las pruebas preliminares, como se muestra a continuación

Imagen 21. Montaje completo de la Alternativa 2



Imagen 22. Montaje completo de la alternativa 3



Por último se agregan 0,0075 mL de cloro a la muestra obtenida de la alternativa 2 y 0,012 mL a la alternativa 3, cada una de las botellas se envía a análisis de laboratorio para que le sean evaluadas todas las cantidades de materia orgánica, inorgánica e iones disueltos, con el fin de corroborar la eficiencia del proceso aplicado y revisar que ningunos de los parámetros generó un aumento a causa del tratamiento realizado.

Imagen 23. Resultado de las alternativas



## 5.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

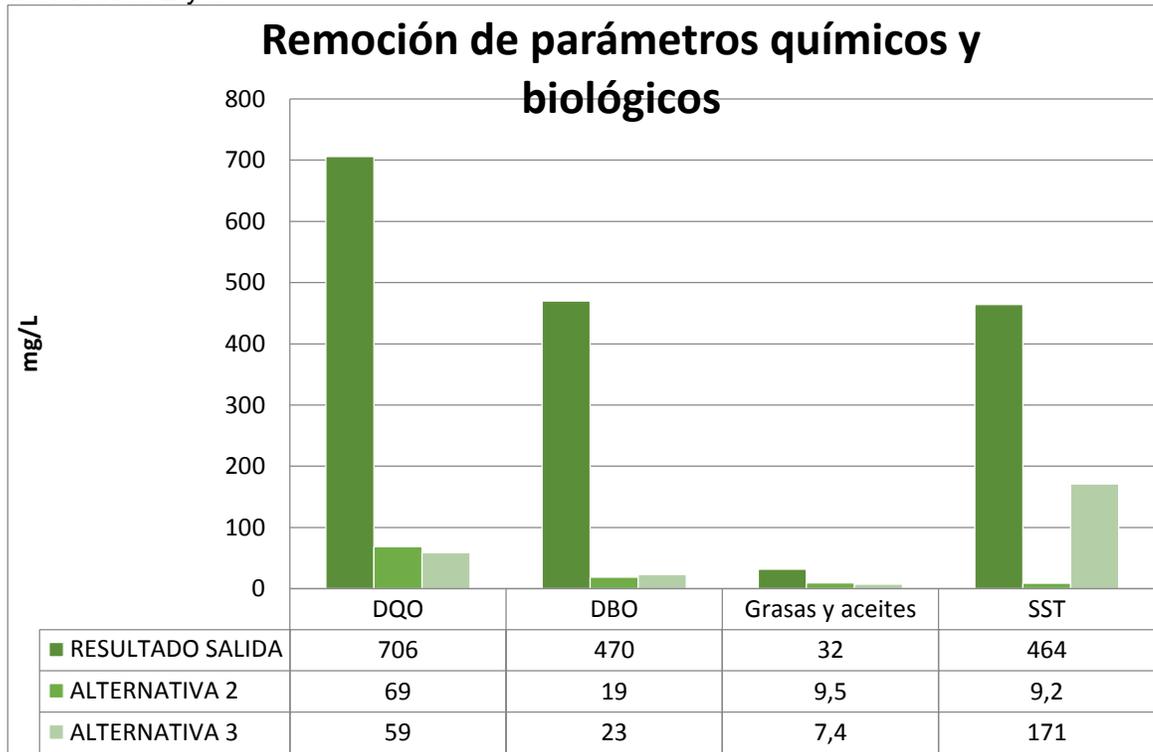
La compañía LABORATORIOS QUIMICONTROL LTDA especialista en realizar pruebas de análisis fisicoquímico al agua, revisa las muestras del efluente de la alternativa 2 y 3, teniendo estos resultados se hace el cálculo del porcentaje de remoción para cada uno de los parámetros en las dos alternativas llevadas a cabo, de tal forma que se comparan los parámetros de la salida del efluente de la planta de tratamiento de agua residual con los parámetros obtenidos de ambas alternativas.

Tabla 22. Comparación de los parámetros obtenidos de la Alternativa 2 y 3 con los parámetros del efluente de la PTAR

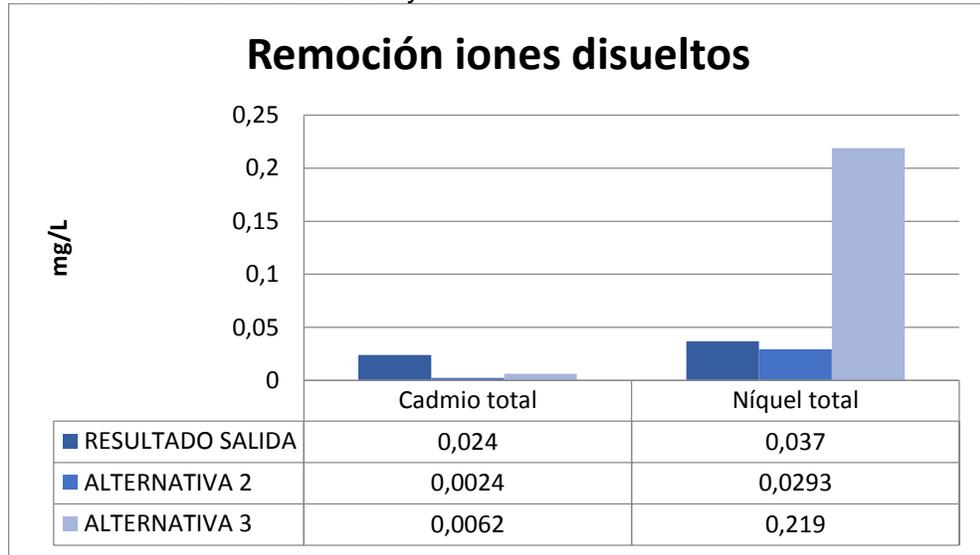
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO SALIDA	DECRETO 0631/2015 ARTICULO 9	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	REMOCIÓN ALT 2 (%)	REMOCIÓN ALT 3 (%)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	706	800	69	59	90,23	91,64
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	470	450	19	23	95,96	95,11
Grasas y aceites	mg/L	32	30	9,5	7,4	70,31	76,88
SST	mg/L	464	225	9,2	171	98,02	63,15
Material flotante	-	Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	-	-
Bario total	mg Ba/L	0,095	-	0,0654	0,0975	31,16	-2,63
Cadmio total	Mg Cd/L	0,024	-	0,0024	0,0062	90,00	74,17
Cobre total	mg Cu/L	0,021	-	0,0079	0,0579	62,38	-175
Mercurio total	mg Hg/L	0,001	-	0,001	0,0009	00,00	10,00
Plomo total	mg Pb/L	0,009	-	0,0446	0,108	-	-
Níquel total	mg Ni/L	0,037	-	0,0293	0,219	20,81	-491,89
Fenoles totales	mg/L	0,051	-	0,051	0,051	0,00	0,00
Turbidez	FAU	660	-	3	40	99,55	93,94
Carga microbiológica	NMP	240000	-	9600	12000	96	95

Los porcentajes de remoción para los parámetros de DBO , DQO , grasas y aceites , SST , Cadmio total , Níquel total , Turbidez y carga microbológica , se presentan en las siguiente gráficas .

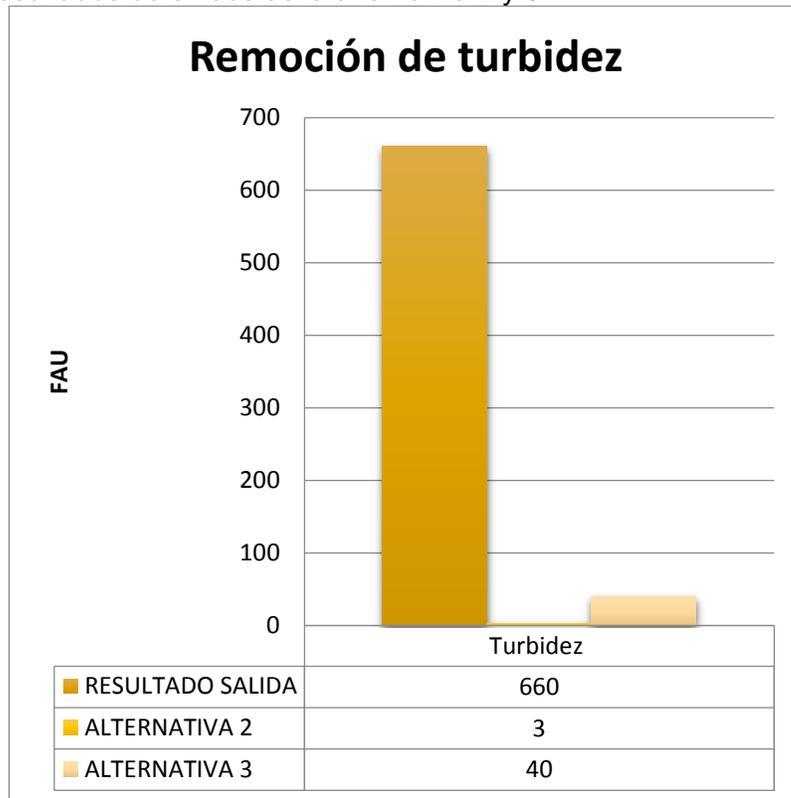
Gráfica 19. Comparación de parámetros de la PTAR con los resultados obtenidos de las alternativas 2 y 3



Gráfica 20. Comparación de iones disueltos de la PTAR con los resultados obtenidos de las alternativas 2 y 3



Gráfica 21. Comparación de turbidez de la PTAR Con los resultados obtenidos de la alternativa 2 y 3



Teniendo en cuenta las gráficas y las tablas anteriores se evidencia que la alternativa que presenta mayor remoción en el 90 % de los parámetros es la alternativa 2, por tal razón todo el análisis de costos se hace con respecto a este tratamiento.

A continuación en la tabla 46 se comparan los valores teóricos reportados en revistas, artículos científicos y libros de ingeniería con los obtenidos en la fase experimental del proyecto, con el fin de determinar la eficiencia real de cada una de las etapas del proceso.

Tabla 23. Compara ración de los parámetros teóricos con los experimentales

Parámetros controlables	Remoción teórica (2da alternativa )	Remoción experimental (2da alternativa )	Remoción teórica (3ra alternativa )	Remoción experimental (3ra alternativa )
DBO	95	90	99	92
DQO	94	96	99	95
Grasas y aceites	No reporta	70	No reporta	77
SST	97	98	99	63
Cadmio total	97	90	96	74
Níquel total	95	21	64	No reporta
Turbidez	99	99	99	94

Teniendo en cuenta la anterior tabla comparativa se evidencian que los valores de remoción experimental son menores a la teórica, sin embargo son cercanos y evidencian la eficiencia de las diferentes etapas de cada propuesta. Se hace el análisis costo beneficio con la segunda propuesta de reúso ya que con las etapas determinadas hay remoción en todos los parámetros de interés.

## 6. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Para el análisis de costos del proyecto se tiene en cuenta que a nivel ambiental la compañía incumple con los parámetros de DBO, DQO y sólidos totales suspendidos en unos porcentajes de 4 , 5 y 106 % respectivamente , por tal razón se haría acreedora a una multa bastante alta , esta se calcula a través de un modelo matemático determinado por el ministerio de ambiente , vivienda y desarrollo territorial , estipulado mediante la ley Ley 1333 de 21 de julio de 2009, citados en el artículo 40 , por medio del cual se establece el régimen sancionatorio ambiental. Es importante tener en cuenta que el Gobierno Nacional, mediante el Decreto 3678 del 4 de octubre de 2010, expidió los criterios generales que deberán tener en cuenta las autoridades ambientales para la imposición de las sanciones consagradas en el artículo 40 de la Ley 1333 anteriormente mencionada .

Los factores a tener en cuenta para formular el modelo matemático son:

B: Beneficio ilícito

á: Factor de temporalidad (tiempo en el cual ha ocurrido la infracción )

i: Grado de afectación ambiental (nivel en que se ha afectado el lugar de vertimiento)

A: Circunstancias agravantes o atenuantes (Aquellos factores que engrandecen o disminuyen la gravedad de las condiciones de vertimiento)

Ca: Costos asociados (Aquellos costos que debe asumir el Frigorífico para que el ministerio ambiente pueda llevar a cabo el estudio de las condiciones en las que se está realizando el vertimiento al río Fucha)

Cs: Capacidad socio-económica del infractor (Determina cual es la capacidad de la persona jurídica para pagar la sanción).

Ecuación 12. Modelo matemático para hallar el valor de la multa

$$Multa = B + [(\acute{a} * i) * (1 + A) + Ca] * Cs$$

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE. VIVIENDA Y DASARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf) ,Consultado 20 de Mayo del 2016

Esta ecuación demanda una serie de fórmulas y variables que requiere cada parámetro así:

Ecuación 13. Beneficio ilícito

$$|B| = \frac{Y * (1 - p)}{p}$$

Fuente: Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE. VIVIENDA Y DASARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf) ,Consultado 20 de Mayo del 2016

- B: Beneficio ilícito
- Y: Sumatoria de ingresos y costos
- p: Capacidad de detección media

Para el grado de afectación se tienen en cuenta las siguientes variables

Tabla 24. Variables grado de afectación

Variable	Abreviación	Rango de operación	Valor ponderado
Intensidad	IN	67 a 99 %	8
Extensión	EX	Mayor a 15 hectáreas	12
Persistencia	PE	6 meses a 5 años	3
Reversibilidad	RV	La asimilación de los contaminantes en el entorno se hace en un tiempo menor a un año	1
Recuperabilidad	MC	Reparar el daño ambiental en menos de seis meses	1

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE. VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf) ,Consultado 20 de Mayo del 2016

Estas variables se operan dentro de la siguiente ecuación

Ecuación 14. Ponderado de agravantes y atenuantes

$$I = (3 * IN) + (2 * EX) + PE + RV + MC$$

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE. VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf) ,Consultado 20 de Mayo del 2016

$$I = 53$$

Realizando el cálculo se obtiene un valor de 53 para el grado de afectación, que se califica dentro de un rango de afectación severa .Para revisar el valor monetario de la afectación se tiene que

Ecuación 15. Grado de afectación ambiental

$$i = (22,06 * SMMLV) * I$$

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE. VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf) ,Consultado 20 de Mayo del 2016

$$i = 806'095.828$$

Donde el resultado es de aproximadamente ochocientos seis millones de pesos colombianos.

La normativa ambiental resuelve también que existen factores agravantes y atenuantes de la acción contaminante, que se incluyen dentro del factor A, operando su sumatoria.

Tabla 25. Factores agravantes y atenuantes

Factores		Valor ponderado
Agravantes	Reincidencia	0.2
	Atentar contra un recurso natural	0.15
Atenuantes	Intención de resarcir el daño	-0.4

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf) , Consultado 20 de Mayo del 2016

Por último se tienen en cuenta dos factores, los costos asociados del Frigorífico para llevar a cabo el estudio solicitado por el medio ambiente que están equivalentes a un millón de pesos y la capacidad socio-económica del infractor que por clasificarse como una compañía mediana con alrededor de empleados y por tal, ser persona jurídica se califica con un valor ponderado de 0.75. Todos estos factores nos arrojan un valor total de multa de alrededor de nueve mil millones de pesos anuales.

Ejecutando la ecuación 12 se obtiene un valor de la multa de

Ecuación 16. Valor de la multa

$$Multa = 9.069'103.062$$

## 6.1 COSTO DE INVERSIÓN

Se solicita cotización de equipos filtrantes a compañías con enfoque de tratamiento de aguas residuales para implementar la alternativa seleccionada (Alternativa 2), con un caudal de 13 L/s del efluente de a PTAR, equivalente a 206 GPM, la compañía con la cotización más completa y específica es RIELCO LTDA .La compañía se encuentra actualmente con todas las competencias para realizar la implementación total de la alternativa seleccionada .

Es importante mencionar que la propuesta a escala industrial es llevada a los equipos filtrantes a través de bombas, usando el caudal de salida de la PTAR , los equipos seleccionados tienen una vida útil de 20 años cuando su mantenimiento de limpieza y pintura se realice cada dos años .

Los costos de inversión incluyen el costo de los equipos, la instrumentación necesaria y los costos de instalación además incluyen el material de los lechos filtrantes determinado por sacos.

Tabla 26. Costos de inversión

EQUIPO	VALOR UNIDAD	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Tanque de arena silícea (Multimedia, incluye manómetros en acero inoxidable, 110 sacos )	\$43'954.000	1	\$43'954.000
Tanque de carbón activado ( Declorinador con árbol de válvulas automático, manómetros en acero inoxidable , interconexiones hidráulicas y eléctricas, 110 sacos)	\$85'205.000	1	\$85'205.000
Columna de antracita ( Declorinador ; incluye árbol de válvulas automáticas, 2 manómetros en acero inoxidable de 0 a 100 psi , interconexiones e hidráulicas, 110 sacos )	\$45'076.000	1	\$45'076.000
Tanque de resina catiónica (suavizador , incluye árbol de distribución automático, entandarizador de ciclos , sistema de regeneración , enjuague y drenaje, 110 sacos )	\$71'290.000	1	\$ 71'290.000
Tanque de cloración	\$70'000.000	1	\$70'000.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$315'525.000</b>

## 6.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Para determinar los costos de operación se tiene en cuenta los costos generados por los insumos en cuanto al tema de mantenimiento de los mismos, sin embargo como los filtros tienen una vida útil de 20 años, no pueden incluirse el cambio de materiales dentro de este costo ya que no se incluyen en la cuenta anual. Se tienen en cuenta de mano de obra y el costo de la energía eléctrica gastada durante el proceso.

El costo de mano de obra hace referencia al personal encargado de activar el proceso de los filtros, llevar un control de la presión medida en los manómetros y de la calidad del agua del efluente de la alternativa a implementar a través de la medida de turbidez en el colorímetro digital con el fin de hacer revisiones rápidas y precisas, para ello se requieren los servicios de un operario capacitado para dichas tareas, que tendrá un sueldo de \$ 688.000, valor equivalente a un salario mínimo legal vigente.

Tabla 27. Costo mano de obra.

N° de operarios	Salario a pagar mensual	Costo anual
1	688.000	\$8'256.000

En cuanto al gasto energético, en la cotización de los equipos se determina que para el correcto funcionamiento de la planta de reúso se requieren un gasto energético de \$12'000.000 anuales, teniendo en cuenta que la energía se usa principalmente para bombear el fluido e un taque de filtración a otro.

Tabla 28. Costo total

COSTO	VALOR
INVERSIÓN	\$315'525.000
OPERACIÓN	\$20'256.000
TOTAL	\$335'781.000

Los costos para la implementación de la alternativa son de \$335'781.000, calculados por año de funcionamiento de planta, sabiendo que la empresa está expuesta a una multa de 9.069'103.062 por incumplir con los parámetros legales, la inversión sería tan sólo un 3 % de ese valor, de ahí la urgencia para implementar esta alternativa de tratamiento, esto sin contar el ahorro de agua del acueducto que no se evalúa dentro de este análisis de costos.

La relación costo- beneficio se representa así

Ecuación 16.Relación costo beneficio

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio (Ahorro por multa)}}{\text{Costos totales anuales (Operación)}}$$

DESARROLLO TERRITORIAL, METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MULTAS POR INFRACCION A LA NORMA AMBIENTAL, Disponible en [http://www.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/res_2086_251010.pdf), Consultado 20 de Mayo del 2016

$$\frac{B}{C} = \frac{9.069'103.062}{335'781.000}$$

$$\frac{B}{C} = 27$$

De acuerdo al resultado obtenido, la relación B/C indica que el proyecto es completamente viable , es mucho mejor invertir en la alternativa planteada ya que esta permitirá no solo el reúso del recurso hídrico sino también la disminución de contaminantes vertidos que afectan el equilibrio ecológico .

## 7. CONCLUSIONES

- La planta de tratamiento de agua residual recibe un caudal máximo diario de 19,59 L/s, aunque la eficiencia total de la PTAR es de un 93,9 %, el efluente excede los valores máximos permisibles de parámetros como DBO y DQO y SST, en un 4 , 5 Y 106 % respectivamente .
- Las alternativas propuestas se basan en el proceso de filtración ya que son los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales a potables, ya que remueven sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO y, metales.
- En cuanto a las pruebas preliminares la reducción de turbidez usando la secuencia de filtros es de 99,6%, y 94%, para las alternativas 2 y 3, respectivamente. La alternativa que presenta mayor remoción en el 90 % de los parámetros es la alternativa 2.
- Debido a la baja carga microbiológica evidenciada en la fase de cloración de las alternativas planteadas, las dosis de cloro añadidas son muy bajas siendo estas de 0,0075 mL y de 0,012 mL por cada 100 mL para las alternativas 2 y 3 respectivamente.
- La compañía puede estar sujeta a una multa de alrededor de nueve mil millones de pesos anuales por el incumplimiento de los parámetros, mientras que resolver el daño ambiental y hacer un reúso del recurso hídrico implica una inversión de alrededor de trescientos millones de pesos, lo que equivale a solo 3 % del valor de la multa.

## 8. RECOMENDACIONES

- Realizar la curva de adsorción de cada lecho filtrante.
- Revisar las curvas de demanda de cloro para cada alternativa, ya que se evidencia que no se logra crear dicha curva para encontrar las diferentes etapas de este procedimiento los cuales abarca formación de cloraminas, destrucción de cloraminas y formación de cloro libre.
- Evaluar en la alternativa 3 que efecto tiene los diferentes lechos filtrantes empleados sobre el agua que se está tratando para que en la salida de esta presente esta tonalidad.
- Revisar cómo puede modificarse el proceso de filtración con materiales de diferentes tamaños de partícula

## BIBLIOGRAFÍA

ACERO,RENÉ; RIAÑO,GUILLERMO y CARDONA,DIEGO. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS FRIGORÍFICOS CÁRNICOS EN COLOMBIA. (Spanish). En: REVISTA CRITERIO LIBRE. jun.vol. 11, no. 19, p. 93-123

AGUAS,POTENCIALMENTE PRESENTES EN y TRATADAS,RESIDUALES DOMÉSTICAS NO. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales.

AGUILAR,MI. Tratamiento Físico-Químico De Aguas Residuales: Coagulación-Floculación. EDITUM, 2002.

AGUILAR,MI, et al. TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE UN EFLUENTE DE MATADERO. AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN MEDIANTE LA ADICIÓN DE COADYUVANTES INORGÁNICOS. En: QUÍMICA EN MURCIA 2002: 50 ANIVERSARIO DE LOS COLEGIOS DE QUÍMICOS DE ESPAÑA. p. 95

AL-MUTAIRI,Nayef Z. Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant. En: ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY. vol. 65, no. 1, p. 74-83

AMUDA,OS y ALADE,A. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. En: DESALINATION. vol. 196, no. 1, p. 22-31

AMUDA,OS y ALADE,A. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. En: DESALINATION. vol. 196, no. 1, p. 22-31

ARANGO RUIZ,Álvaro. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. 2009.

ARANGO RUIZ,Álvaro. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. 2009.

ARBOLEDA VALENCIA,Jorge. Teoría y Práctica De La Purificación Del Agua. McGraw-Hill, 2000.

CALDERA,Yaxcelys, et al. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola. En: REVISTA CIENTÍFICA. vol. 20, no. 4, p. 409-416

CALLE,E. Domínguez, et al. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. En: REV.ACAD.COLOMB.CIENCIA. vol. 32, no. 123, p. 195-212

CALVIÑO,Natalia Otero. Filtración De Aguas Residuales Para Reutilización. Universidad de La Laguna, 2009.

CARVACHO AVACA,Cristian Patricio y LORETO FUENTES PÉREZ,Tania. Diagnóstico Del Funcionamiento De Los Sistemas De Alcantarillados De Aguas Servidas Domésticas, En Las Viviendas Sociales De La Comuna De Lampa, Región Metropolitana. [Electronic(1)]:Chile: B - Universidad de Santiago de Chile, 2007.

CARRILLO PÉREZ,Lisbert Carolina y GÓMEZ GUALDRÓN,Mauricio Alonso. Recopilación, evaluación y análisis de la información para el programa de control de vertimientos industriales con descarga al alcantarillado para el municipio de Bucaramanga.

CASTELLS,Xavier Elías. Reciclaje De Residuos Industriales: Aplicación a La Fabricación De Materiales Para La Construcción. Ediciones Díaz de Santos, 2000.

CASTRO,F., et al. Hernández. En: CUBA AMANECER DEL TERCER MILENIO.CIENCIA SOCIEDAD y TECNOLOGÍA.ESPAÑA: DEBATE.

COGOLLO FLOREZ,Juan Miguel. WATER CLARIFICATION USING POLYMERIZED COAGULANTS: ALUMINUM HYDROXYCHLORIDE CASE. En: DYNA. vol. 78, no. 165, p. 18-27

COLL,Víctor Molinet y CAMESELLE,Rodrigo Pigem. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MATADEROS. En: AMBIENT. p. 21

COULSON,John Metcalfe y RICHARDSON,John Francis. Ingeniería Química. Reverté, 1984.

DANIEL,Harris. Anàlisis químicu cuantitativo. En: ED REVERTÉ.

DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL FRIGORÍFICO BLE LTDA.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA FRIGORIFICO BLE LTDA

DOMÈNECH,Xavier y PÉREZ,José Peral. Química Ambiental De Sistemas Terrestres. Reverté, 2006.

DOMINGUEZ CALLE,E., et al. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano.

En: REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES. vol. 32, p. 132

GARRIDO,Santiago García. Ingeniería De Mantenimiento: Manual Práctico Para La Gestión Eficaz Del Mantenimiento Industrial. Renovetec, 2014.

HAERING,Kathryn C., et al. Water reuse: using reclaimed water for irrigation.

HENRY,J. Glynn y HEINKE,Gary W. Ingeniería Ambiental. Pearson Educación, 1999.

HENRY,J. Glynn y HEINKE,Gary W. Ingeniería Ambiental. Pearson Educación, 1999.

HERNÁNDEZ,Antonio. Microfiltración, Ultrafiltración y Ósmosis Inversa. EDITUM, 1990.

HERNÁNDEZ RAMÍREZ,Jorge Stiven; LEITON SALAMANCA,Wilson Hernando y PÉREZ WALTEROS,Nelson. Propuesta Para El Aprovechamiento De Los Vertimientos Generados De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Carulla Vivero S. A. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2007

IGLESIAS,Manuel Fariñas. Osmosis Inversa: Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones. McGraw-Hill Interamericana de España, 1999.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación.Presentación de tesis trabajos de grados y otros trabajos .Investigación .NTC1486.Sexta actualización Bogotá :en instituto , 2008,p.1.Referencias bibliográficas ,contenido , forma y estructura .NTC 5613 . Bogotá.I instituto, 2008 ,p.12. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas.NTC 4490.Bogotá : el instituto, 1998,p.12.

JIMÉNEZ,Blanca Elena. La Contaminación Ambiental En México. Editorial Limusa, 2001.

Kou, María del Rosario Sun; INGA,José y GUTARRA,Abel. Preparación de filtros de adsorción a base de arcillas modificadas.

LAPEÑA,Miguel Rigola. Tratamiento De Aguas Industriales: Aguas De Proceso y Residuales. Marcombo, 1989.

LAZAROVA,Valentina y BAHRI,Akiça. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. CRC Press, 2004.

MALAGÓN,César Augusto. Legislación en carnes, aplicación decreto 1500. En: ALIMENTOS HOY. vol. 11, no. 11, p. 58-92

MANAHAN,STANLEY E. INTRODUCCION A LA QUÍMICA AMBIENTAL./STANLEY E, MANAHAN..

MELLADO,José Miguel Rodríguez y GALVÍN,Rafael Marín. Fisicoquímica De Aguas. Ediciones Díaz de Santos, 1999.

METCALF,A. y EDDY,J. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I.

METCALF,A. y EDDY,J. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I.

NEMEROW,Nelson Leonard y DASGUPTA,Avijit. Tratamiento De Vertidos Industriales y Peligrosos. Ediciones Díaz de Santos, 1998.

OSORIO ROBLES,Francisco; TORRES ROJO,Juan Carlos y SÁNCHEZ BAS,Mercedes. Tratamiento De Aguas Para La Eliminación De Microorganismos y Agentes Contaminantes: Aplicación De Procesos Industriales a La Reutilización De Aguas Residuales. España: Ediciones Díaz de Santos, 2010.

RAMALHO,Rubens Sette; BELTRÁN,Domingo Jiménez y DE LORA,Federico. Tratamiento De Aguas Residuales. Reverté, 1990.

RESTREPO,Ana; ARANGO,A. y GARCÉS,Luis. La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. En: PRODUCCIÓN LIMPIA. vol. 1, no. 2, p. 58-77

ROBLES,Francisco Osorio; ROJO,Juan Carlos Torres y BAS,Mercedes Sánchez. Tratamiento De Aguas Para La Eliminación De Microorganismos y Agentes Contaminantes. Ediciones Díaz de Santos, 2010.

RODRÍGUEZ,FJ. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. En: EDICIONES DÍEZ DE SANTOS.MADRID, ESPAÑA.

ROJAS GUTIÉRREZ,Marley; AUGUSTO,Rivas Cesar y ORJUELA ZAMORA,Andrés Camilo. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el Matadero del Municipio de Vergara Cundinamarca.

SIERRA RAMÍREZ,Carlos Alberto. Calidad Del Agua: Evaluación y Diagnóstico. Colombia: Ediciones de la U, 2011.

TOVAR,Candelaria Tejada; ORTIZ,Ángel Villabona y RANGEL,Víctor Ruiz. Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión. En: INGENIUM. vol. 6, no. 14, p. 11-21

URIBE, Alvaro, BETANCOURT, Diego, LOZANO, Juan. Decreto 1575 De 2007. [Print(0)]. [Consultado el 10/092015].

WEBER,Walter J. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. Reverté, 1979.

NOM127SSA11994, NORMA OFICIAL MEXICANA y AMBIENTAL,SALUD. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANOLIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". En: NORMA. vol. 24, p. 3

ANEXOS

ANEXO A.  
CALCULOS DE REMOCION TEORICA PARA LA ALTERNATIVA 1

A continuación se presenta los cálculos para los parámetros (DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, carga microbiológica) para la alternativa 1

- Remoción de DBO

La primera etapa de esta alternativa, consiste de un filtro de arena con un porcentaje de remoción de DBO en 71, la entrada a este operación unitaria es la salida de la laguna 3 con una concentración de DBO en  $470 \frac{mgO_2}{L}$ ; por lo tanto la remoción de esta operación unitaria se calcula de la siguiente manera

$$\frac{mgO_2}{L} salida = \frac{mgO_2}{L} entrada - \frac{mg \frac{O_2}{L} entrada * (\% de remoción)}{100}$$

Reemplazando en la ecuación

$$\frac{mgO_2}{L} salida = 470 \frac{mgO_2}{L} - \frac{470mg \frac{O_2}{L} * (71\% de remoción)}{100}$$

$$\frac{mgO_2}{L} salida = 136,3$$

El efluente del primer filtro de arena es llevado a un segundo filtro de carbón activado por lo tanto la corriente de entrada de esta etapa tendrá una concentración de DBO en  $136,3 \frac{mgO_2}{L}$ ; dicho filtro presenta un porcentaje de remoción teórico de DBO 81, a continuación se presenta el cálculo para esta remoción

$$\frac{mgO_2}{L} = 136,3 \frac{mgO_2}{L} - \frac{136,3mg \frac{O_2}{L} * (81\% de remoción)}{100}$$

$$\frac{mgO_2}{L} = 25,897$$

Teniendo en cuenta que por medio de esta alternativa se obtiene teóricamente un DBO en  $25,897 \frac{mgO_2}{L}$ , el porcentaje de remoción de esta alternativa es de 94,49 de DBO del valor inicial.

- Remoción de DQO

La primera etapa de esta alternativa, consiste de un filtro de arena con un porcentaje de remoción de DQO en 69, la entrada a este operación unitaria es la salida de la laguna 3 con una concentración de DQO en  $706 \frac{mgO_2}{L}$ ; por lo tanto la remoción de esta operación unitaria se calcula de la siguiente manera

$$\frac{mgO_2}{L} salida = \frac{mgO_2}{L} entrada - \frac{mg \frac{O_2}{L} entrada * (\% de remoción)}{100}$$

Reemplazando en la ecuación

$$\frac{mgO_2}{L} salida = 706 \frac{mgO_2}{L} - \frac{706 \frac{mgO_2}{L} * (69\% de remoción)}{100}$$

$$\frac{mgO_2}{L} salida = 218,86$$

El efluente del primer filtro de arena es llevado a un segundo filtro de carbón activado por lo tanto la corriente de entrada de esta etapa tendrá una concentración de DQO en  $218,86 \frac{mgO_2}{L}$ ; dicho filtro presenta un porcentaje de remoción teórico de DQO de 81, a continuación se presenta el cálculo para esta remoción

$$\frac{mgO_2}{L} = 218,86 \frac{mgO_2}{L} - \frac{218,86 mg \frac{O_2}{L} * (81\% de remoción)}{100}$$

$$\frac{mgO_2}{L} = 41,5834$$

Teniendo en cuenta que por medio de esta alternativa se obtiene teóricamente un DQO en  $41,5834 \frac{mgO_2}{L}$ , el porcentaje de remoción de esta alternativa es de 94,11 de DQO del valor inicial.

- Remoción de sólidos suspendidos totales

La primera etapa de esta alternativa, consiste de un filtro de arena con un porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales en 72, la entrada a este operación unitaria es la salida de la laguna 3 con una concentración de sólidos suspendidos en  $464 \frac{mg}{L}$ ; por lo tanto la remoción de esta operación unitaria se calcula de la siguiente manera

$$\frac{mg}{L} salida = \frac{mg}{L} entrada - \frac{\frac{mg}{L} entrada * (\% de remoción)}{100}$$

Reemplazando en la ecuación

$$\frac{mg}{L} salida = 464 \frac{mg}{L} - \frac{464 \frac{mg}{L} * (72\% de remoción)}{100}$$

$$\frac{mgO_2}{L} salida = 129,92$$

El efluente del primer filtro de arena es llevado a un segundo filtro de carbón activado por lo tanto la corriente de entrada de esta etapa tendrá una concentración de sólidos suspendidos totales en  $129,92 \frac{mg}{L}$ ; dicho filtro presenta un porcentaje de remoción teórico de sólidos suspendidos totales de 74, a continuación se presenta el cálculo para esta remoción

$$\frac{mg}{L} = 129,92 \frac{mg}{L} - \frac{129,92 \frac{mg}{L} * (74\% de remoción)}{100}$$

$$\frac{mg}{L} = 33,779$$

El efluente de esta segunda etapa es llevado a un filtro con un lecho de antracita, dicho flujo tiene una concentración inicial de  $33,779 \frac{mg}{L}$ , y el porcentaje de remoción teórico de sólidos suspendidos totales para esta etapa es de 57,6, el cálculo de este concentración de salida se describe a continuación

$$\frac{mg}{L} = 33,779 \frac{mg}{L} - \frac{33,779 \frac{mg}{L} * (57,6\% \text{ de remoción})}{100}$$

$$\frac{mg}{L} = 14,32$$

Teniendo en cuenta que por medio de esta alternativa se obtiene teóricamente sólidos suspendidos totales en  $14,32 \frac{mg}{L}$ , el porcentaje de remoción de estos sólidos por medio de esta alternativa es de 96,91336 del valor inicial.

- Remoción carga microbiológica

En esta alternativa la remoción de la carga microbiológica se realiza en el filtro con lecho de antracita y en el tanque de cloración, el filtro con lecho de antracita se obtiene un porcentaje de remoción teórico en 57,6, teniendo en cuenta la carga microbiología en la corriente de entrada que es de 240000 NMP en 100ml, se calcula a continuación esta remoción

$$NMP \text{ entrada} = 240000 \text{ NMP} - \frac{240000 \text{ NMP} * (57,6\% \text{ de remoción})}{100}$$

$$NMP \text{ salida} = 101760$$

El efluente del filtro con lecho filtrante de antracita es llevado a un tanque de cloración; por lo tanto la corriente de entrada de esta etapa tendrá una concentración de microbiológica en 101760 NMP en 100ml; dicho tanque presenta un porcentaje de remoción teórico de 99, a continuación se presenta el cálculo para esta remoción

$$NMP \text{ entrada} = 101760 \text{ NMP} - \frac{101760 \text{ NMP} * (99\% \text{ de remoción})}{100}$$

$$NMP \text{ salida} = 1017,60$$

Teniendo en cuenta que por medio de esta alternativa se obtiene teóricamente una carga microbiológica en 1017,60 NMP en 100 ml, el porcentaje de remoción por medio de esta alternativa es de 99,91 del valor inicial.

ANEXO B.  
PRODUCTORIA MATRIZ DE SELECCION

		Prioridad	Alternativa 1	P	Alternativa 2	P	Alternativa 3	P
Aspectos técnicos	Eficiencia de remoción	25	3	0,75	3	0,75	3	0,75
	Disponibilidad de equipos	10	1	0,1	2	0,2	2	0,2
	Gasto energético	10	1	0,1	3	0,3	2	0,2
	Vida útil	10	1	0,1	3	0,3	3	0,3
	Requerimiento de área	5	2	0,1	1	0,05	1	0,05
Aspecto comercial y legal	Costo de inversión	20	1	0,2	2	0,4	3	0,6
	Costo de mantenimiento	20	1	0,2	2	0,4	3	0,6
				1,55			2,4	2,7

ANEXO C.  
RESULTADOS PRUEBAS PREELIMINARES TEST DE JARRAS

Esta prueba se llevó a cabo en beakers de 1000 mL, usando el 60% de su capacidad, 600 mL, el tiempo de agitación para cada material con la muestra fue de 40 minutos a 60 revoluciones por minuto.

Al hacer una inspección visual al finalizar la prueba el agua tenía un color más oscuro, en el caso del carbón activado y la antracita un color negro y en el caso de la arena y la zeolita un color terroso posteriormente se tomaron medidas de turbidez que generaron valores mayores a los de las muestra problema, estos fueron medidos en un colorímetro digital, inclusive en algunos casos el equipo registró su valor límite de 1100 FAU, como se evidencia en las siguientes tablas.

Tabla 29. Prueba test de jarras con arena sílicea

N° de Beaker	Masa arena	Muestra de agua usada (mL)	Turbidez (FAU)
1	50	600	741
2	100	600	805
3	180	600	863
4	200	600	940
5	220	600	1001

Tabla 30. Prueba test de jarras con zeolita

N° de Beaker	Masa de zeolita	Muestra de agua usada (mL)	Turbidez (FAU)
1	50	600	720
2	100	600	746
3	180	600	788
4	200	600	824
5	220	600	835

Tabla 31. Prueba test de jarras con zeolita

N° de Beaker	Masa de antracita	Muestra de agua usada (mL)	Turbidez (FAU)
1	50	600	785
2	100	600	798
3	180	600	845
4	200	600	876
5	220	600	901

Tabla 32. Prueba test de jarras con carbón activado

N° de Beaker	Masa de carbón activado	Muestra de agua usada (mL)	Turbidez (FAU)
1	50	600	885
2	100	600	885
3	180	600	1100
4	200	600	1100
5	220	600	1100

ANEXO D.  
RESULTADOS PRUEBAS PREELIMINARES FILTROS

Tabla 33. Resultado filtro de arena

Altura lecho de Arena (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	644	3,10
6	618	3,48
7	591	4,10
8	569	5,00
9	538	6,46
10	510	7,59
11	486	8,34
12	433	9,17
13	433	9,52
14	433	10,13
15	433	11,00

Tabla 34. Resultado filtro de carbón activado

Altura lecho de carbón (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	474	3,59
6	457	4,57
7	440	5,13
8	423	6,50
9	406	7,36
10	389	8,54
11	355	9,48
12	355	10
13	355	11,45

Tabla 35. Resultado filtro de antracita

Altura lecho de antracita (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	341	2,56
6	308	3,27
7	270	4,00
8	223	4,49
9	210	5,32
10	158	6,13
11	110	7,00
12	58	7,48
13	23	8,09
14	23	8,25
15	23	9,01

Tabla 36. Resultado filtro de resina

Altura lecho de Amberlite IR120(cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	198	3,15
6	37	4,29
7	47	5,15
8	53	5,59
9	58	6,23
10	67	7,04

Tabla 37. Resultado filtro de Zeolita

Altura lecho de Zeolita (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	353	10,15
6	352	11,47
7	352	12,36
8	351	13,54
9	351	14,16
10	351	15,12

Tabla 38. Resultado filtro de arena 1

Altura lecho de Arena 1 (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	173	3,04
6	171	3,35
7	168	4,07
8	166	5,01
9	154	6,32
10	150	7,40
11	142	8,24
12	142	9,02

Tabla 39. Resultado filtro de arena 2

Altura lecho Arena 2 (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	136	3,04
6	132	3,35
7	129	4,07
8	128	5,01
9	126	6,32
10	120	7,40
11	119	8,24
12	118	9,02

Tabla 40. Resultado filtro de carbón activado 1

Altura lecho de carbón 1 (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	231	4,03
6	213	5,06
7	200	5,24
8	162	6,18
9	153	7,00
10	120	8,54
11	114	9,32
12	114	11

Tabla 41. Resultado filtro de carbón activado 2

Altura lecho de Carbón 2 (cm)	Turbidez (FAU)	Tiempo de filtrado (min)
5	194	3,41
6	182	4,50
7	176	5,00
8	157	6,10
9	143	7,24
10	116	8,18
11	85	9,21
12	85	10

## ANEXO E. RESULTADOS DE LABORATORIO



INFORME 187  
CALIDAD GR-PJ073-187

Bogotá D.C., 23 de mayo de 2016

**IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE**  
Ingeniero  
**DIEGO FELIPE LOZANO LÓPEZ**  
Coordinador Ambiental  
**FRIGORÍFICOS BLE**  
Avenida ciudad de Cali, Carrera 86 No. 15-81  
Teléfono: 4113676  
E-mail: gambientalfsm@gmail.com  
Bogotá, D.C.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
ORDEN DE SERVICIO : Orden de servicio interna para análisis Lab. 3743  
MATRIZ : Agua Residual Industrial  
FECHA DE MUESTREO : 11 de mayo de 2016  
PUNTO DE MUESTREO : Dato no suministrado por el cliente  
TIPO DE MUESTREO : Dato no suministrado por el cliente  
RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 11 de mayo de 2016  
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : Alternativa 2 (16-AG 40)  
OBSERVACIÓN : **Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio**



**Resultados de Análisis.**

Variable	Método de análisis	Fecha de análisis	Resultado	
			Alternativa 2	Incertidumbre
Demanda Química de Oxígeno** (DQO), mg/L O <sub>2</sub>	Reflujo abierto SM 5220 B	2016-05-12	69	± 2,346
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), mg/L O <sub>2</sub>	Incubación 5 días-Modificación de azida, SM 5210 B, 4500 O-C	2016-05-12 a 2016-05-17	19	± 1,235
Grasas y aceites, mg/L	Extracción Soxhlet, SM 5520 D	2016-05-11	9,5	± 0,333
Sólidos suspendidos totales, mg/L	Gravimetría, SM 2540 D	2016-05-11	9,2	± 0,215
Fenoles, mg/L	SM 5530 B-C, Extracción cloroformo	2016-05-16	< 0,051	± 0,002
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ), mg/L	SM 4500E, Turbidimétrico	2016-05-13	< 0,1	± 0,05
Bario total (Ba), mg/L	SM 3030 H, 3114 B, A.A.	2016-05-19	0,0654	± 0,005
Cadmio total (Cd) mg/L	SM 3030 H, 3114 B, A.A.	2016-05-18	< 0,0024	± 0,0002
Cobre total (Cu), mg/L	SM 3030 H, 3114 B, A.A.	2016-05-18	< 0,0079	± 0,0001
Mercurio total (Hg), mg/L	SM 3112 B, A.A. Vapor Frío	2016-05-16	0,0018	± 0,000
Níquel total (Ni), mg/L	SM 3030H-3111B, A.A. Llama	2016-05-19	0,0293	± 0,003
Plomo total (Pb), mg/L	SM 3030H-3111B, A.A. Llama	2016-05-19	0,0446	± 0,008

Se siguió: "STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater" 22ND 2012. (\*\*): Variable no acreditada. (A.A.): Absorción Atómica. (<): Menor que, Límite de cuantificación del método.

NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a las muestras analizadas.

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

NOTA 3: Las muestras analizadas en el Laboratorio Quimicontrol Ltda. serán desechadas treinta (30) días después de haber sido recibidas. Las muestras subcontratadas son desechadas de acuerdo a los lineamientos establecidos por el laboratorio externo.

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

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

**CONSTANTINO N. ZULOAGA MOYA**  
Químico, Matricula Profesional PQ-412  
Especialista en Consultoría ambiental  
Elaboró: Nelson Fabian Castillo Monroy  
Revisó: Gustavo Rodríguez Vargas



ANEXO F.  
COTIZACIÓN MATERIALES FILTRANTES Y EQUIPOS



Bogotá, marzo 28 de 2016  
Señorita  
**Ivonne Poveda**  
andre.pg1493@hotmail.com  
Tel 2955484

**Asunto: Cotización**

Cordial saludo.

Según conversación telefónica estos son los precios solicitados:

<b>PRODUCTO</b>	<b>\$ UNIDAD</b>
Arena sílice bulto de 25 kg	14.000
Arena sílice bulto de 50 kg	20.000
Carbón activado 1 kg	14.000
Carbón activado bulto de 25 kg	200.000
Carbón antracita bulto de 50 kg	38.000
Grava de 25 kg	14.000
Grava de 50 kg	20.000

- Entrega gratis en Modelia desde \$100.000
- Formas de pago: Contra entrega en efectivo o con tarjetas
- Disponibilidad: Inmediata

El precio es final (no cobramos IVA, somos régimen simplificado), le damos factura legal por sistema, RUT y Cámara de Comercio.

Atentamente.

Juan Carlos Correa Ramírez

Gerente

Domicilios: 703 1077 - 300 571 7965. Calle 138 N° 46A-16 Bogotá  
**laleñería.com**

EMPRESA: FRIGORIFICO GUADALUPE	FECHA: MAYO 11 DE 2016	FC-CSIS
CONTACTO: IVONNE POVEDA	CARGO:	V-1 06-01-2016
CIUDAD: BOGOTA	COTIZACION: CTF-562-16	TELEFONO: 3163250531
REFERENCIA: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Suministro de Sistemas de Filtración para Tratamiento de Agua Residual Capacidad: 206 GPM</li> </ul>		

Estimados Señores:

En respuesta a su amable solicitud, y de acuerdo su requerimiento, a continuación presentamos oferta para el **SUMINISTRO DE SISTEMAS DE FILTRACION PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL – CAPACIDAD 206 GPM.**

Nuestra oferta combina etapas de tratamiento con componentes importados certificados para garantizar la remoción de los parámetros críticos de calidad y ofrecer una agua segura en cumplimiento de las exigencias de calidad solicitadas y de acuerdo con la normatividad vigente.

Esperamos que esta propuesta sea acogida favorablemente y consolidarnos como proveedor estratégico en el crecimiento de su empresa.

Cordialmente,

**SANDRA CAICEDO**  
Asesora Comercial

### 1.OBJETIVOS Y BENEFICIOS

<b>Aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de Sistemas de Filtración para Tratamiento de agua Residual.</li> </ul>
<b>Ahorro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínimo costo de operación en consumibles de reposición.</li> </ul>
<b>Capacidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 206 GPM</li> </ul>
<b>Eficiencia y Calidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes de primera calidad certificada NSF.</li> <li>• Operación práctica simplificada.</li> <li>• Alta eficiencia en la retención de partículas contaminantes en las diferentes etapas de tratamiento.</li> </ul>
<b>Seguridad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por sus componentes y diseño la Planta ofrece plena seguridad en su operación y funcionamiento.</li> </ul>

**2. OFERTA TECNICA**

**2.1 . SUAVIZADOR**

NR.	ETAPA	DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES
1	<p><b>SUAVIZADOR</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suavizador Automático ensamblado en tanque de Acero al Carbon ,</li> <li>• Medidas de tanque: 78" de diámetro x 60" de altura</li> <li>• Dotado de sistema de distribución interno .</li> <li>• Tipo de lecho filtrante: resina catiónica para retención de dureza</li> <li>• Volúmen de lecho filtrante: 110 Sacos</li> <li>• Referencia: C107</li> <li>• Arbol de distribucion automatico.</li> <li>• Fácilmente programable de acuerdo con ciclos de tiempo en función de taponamiento de resina.</li> <li>• Permite estandarizar ciclos y control de calidad de regeneración proporcionando mayor durabilidad a la resina catiónica.</li> <li>• Control automático de ciclos de servicio, succión de salmuera, regeneración, enjuague y drenaje.</li> </ul>
2	<p><b>MANOMETRO DE PRESION</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manómetros fabricados en acero inoxidable de 0 a 100 psi para control de presión</li> <li>• REF: PGB-25100L</li> </ul>
3	<p><b>INTERCONEXIONES ELECTRICAS E HIDRAULICAS</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interconexiones Hidráulicas en PVC schedule 40.</li> <li>• Interconexiones Eléctricas con protecciones de seguridad según normas RETIE.</li> </ul>

## 2.2 DECLORINADOR

NR.	ETAPA	DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES
1	<p><b>DECLORINADOR</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Declorinador Automatico en tanque de Acero al Carbon , dotado de sistema de distribución interna con tubo distribuidor y canastillas en inox .</li> <li>• Medidas: 78" de diámetro x 60" de altura</li> <li>• Volumen de lecho filtrante : 110 Sacos</li> <li>• Lecho de Carbón Activado granulado adecuado para retención de color, olor sabor y cloro.</li> <li>• Arbol de Valvulas Automatico.</li> </ul>
2	<p><b>MANOMETRO DE PRESION</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manómetros fabricados en acero inoxidable de 0 a 100 psi para control de presión</li> <li>• REF: PGB-25100L</li> </ul>
3	<p><b>INTERCONEXIONES ELECTRICAS E HIDRAULICAS</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interconexiones Hidráulicas en PVC schedule 40.</li> <li>• Interconexiones Eléctricas con protecciones de seguridad según normas RETIE.</li> </ul>

**2.3 MULTIMEDIA**

NR.	ETAPA	DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES
1	<p><b>MULTIMEDIA</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro Multimedia en tanque de Acero al Carbon, dotado de sistema de distribución interna.</li> <li>• Capacidad: 206 GPM</li> <li>• Medidas: 78" de diámetro x 60" de altura</li> <li>• Volumen de lecho filtrante : 110 Sacos</li> <li>• Filtro Multimedia con lecho conformado por cama de arena silice, en diferentes granulometrías para retención de turbidez y solidos suspendidos.</li> <li>• Arbol de Valvulas Automatico</li> </ul>
2	<p><b>MANOMETRO DE PRESION</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manómetros fabricados en acero inoxidable de 0 a 100 psi para control de presión</li> <li>• REF: PGB-25100 L</li> </ul>
3	<p><b>INTERCONEXIONES ELECTRICAS E HIDRAULICAS</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interconexiones Hidráulicas en PVC schedule 40.</li> <li>• Interconexiones Eléctricas con protecciones de seguridad según normas RETIE.</li> </ul>

**2.4 COLUMNA DE ANTRACITA**

NR.	ETAPA	DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES
1	<p><b>COLUMNA DE ANTRACITA</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Columna de Antracita en tanques de Acero al Carbon, dotado de sistema de distribución interna.</li> <li>• Capacidad: 206 GPM</li> <li>• Medidas: 78" de diámetro x 60" de altura</li> <li>• Volumen de lecho filtrante : 110 Sacos</li> <li>• Filtro Multimedia con lecho conformado por Antracita</li> <li>• Arbol de Valvulas Automaticas</li> </ul>
2	<p><b>MANOMETRO DE PRESION</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Manómetros fabricados en acero inoxidable de 0 a 100 psi para control de presión</li> <li>• REF: PGB-25100L</li> </ul>
3	<p><b>INTERCONEXIONES ELECTRICAS E HIDRAULICAS</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interconexiones Hidráulicas en PVC schedule 40.</li> <li>• Interconexiones Eléctricas con protecciones de seguridad según normas RETIE.</li> </ul>

3. OFERTA COMERCIAL				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	VR. UNIT	VR. TOTAL
1	SUAVIZADOR 206 GPM	1	\$71.295.000	\$71.295.000
2	DECLORINADOR 206 GPM	1	\$85.805.000	\$85.805.000
3	MULTIMEDIA	1	\$43.954.000	\$43.954.000
4	COLUMNA DE ANTRACITA	1	\$45.076.000	\$45.076.000
CONDICIONES COMERCIALES PRECIOS COTIZADOS + I.V.A				
<b>TIEMPO DE ENTREGA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo para el despacho: 22 Dias</li> <li>• Tiempo de instalación y puesta en marcha: 4 Dias</li> <li>• Tiempo Total: 26 Dias</li> </ul>			
<b>FORMA DE PAGO:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia Cta Cte. N° 1934545265-3 Bancolombia a nombre de Rielco Ltda.</li> <li>• 50% Anticipo para iniciar</li> <li>• 50% Saldo para la entrega</li> </ul>			
<b>SITIO DE ENTREGA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En sus instalaciones</li> </ul>			
<b>VALIDEZ DE LA OFERTA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 Dias</li> </ul>			
<b>OBSERVACIONES:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suministro de consumibles de operación permanente, por solicitud.</li> <li>• Asesoría y soporte técnico permanente.</li> <li>• La planta se entrega a 0 mts de toma de agua y energía de 220/ 110 V.</li> </ul> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fichas técnica y diagramas.</li> </ul> <p>No incluye</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interconexiones ni adecuaciones civiles adicionales.</li> <li>• El manejo y disposición de residuos sólidos.</li> </ul> <p>Notas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En caso de demoras en el alistamiento de las condiciones civiles y locativas para la instalación de la planta, no se afectarán las condiciones comerciales de pago.</li> <li>• Una vez confirmado el interés en la presente oferta se entregarán los diagramas de planta requeridos: 3D/ P&amp;D/</li> </ul>			

EMPRESA: <b>FRIGORIFICO</b>	FECHA: Mayo 25 /2016	FC-CPAR
CONTACTO: Ing. Ivone Poveda	CARGO: Ing. Ambiental	V1 06-01-2016
CIUDAD: Bogota	COTIZACION: CTF-610-016	TELEFONO:3163250531
REFERENCIA: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Suministro de Tanque de Acumulacion de 50.000 litros</li> </ul>		

Estimados Señores:

En respuesta a su amable solicitud a continuación presentamos oferta para el suministro de los siguientes elementos de filtración: Tanque de Acumulacion de 50.000 Litros

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	VR.UNIT	VR.TOTAL
<b>1</b>	<b><u>TANQUE DE ACUMULACION</u></b>  Material: Poliester reforzado con fibra de vidrio (PRFV) Color: Blanco Medidas : 12 Metros de largo Diametro : 2.40 Metros Tipo de Resina: Resina Isoftalica tix 850 Tipo de Fibra: Tela Matt 700 (450 gr/m2 Woven Roving (800 gms/ m2) Hybon 600	1	\$70.000.000	\$70.000.000
<b>IVA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicional : 16% IVA</li> </ul>			
<b>TIEMPO DE ENTREGA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 Dias</li> </ul>			
<b>FORMA DE PAGO:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia Cta. Cte. N° 1934545265-3 Bancolombia</li> </ul>			
<b>SITIO DE ENTREGA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En sus Instalaciones en la ciudad de Bogota</li> </ul>			
<b>VALIDEZ DE LA OFERTA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 Dias</li> </ul>			
<b>ASESORIA TÉCNICA PERMANENTE</b>				

Con la intención de brindarles el mejor servicio y asistencia, quedamos atentos a sus solicitudes.

Cordialmente,

**Sandra Caicedo**  
Asesora Comercial