

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA AZULK S.A.

LINA ALEXANDRA HERRERA MATEUS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA AZULK S.A.

LINA ALEXANDRA HERRERA MATEUS

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
John Álvaro Romero Camargo
Ingeniero Industrial

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

Nota de Aceptación:

Ingeniera Elizabeth Torres Gámez

Ingeniera Nubia Liliana Becerra Ospina

Ingeniero Edgar Fernando Moreno Torres

Bogotá D.C., febrero de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro:

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vice-rector de Desarrollo y Recursos Humanos:

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vice-rectora Académica y de Posgrados:

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingeniería:

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director 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 la autora.

DEDICATORIA

*Este proyecto de grado está dedicado a **Dios**, porque gracias a él tuve las fuerzas y dedicación para volver este sueño de mi vida una realidad y pude enfrentar todas las adversidades que se me presentaron en este largo y difícil camino.*

*A mi **mamá** que ha sido mi motor a lo largo de mi vida, un ejemplo a seguir y la motivación de todos los días para no desfallecer en el camino, por sus enseñanzas y su paciencia en todo lo que hago y por querer siempre lo mejor para mí.*

*A mis **hermanos** y **hermana** por ser motivación siempre, porque son luz en mi vida y mis ganas de seguir luchando por hacer las cosas cada día mejor y por conseguir más logros.*

*A mis **sobrinos** que son mi fuente de amor, ellos me enseñan día a día como sortear la vida y yo les quiero enseñar a soñar en grande y que con esfuerzo y dedicación esos sueños se hacen realidad.*

Finalmente es un proyecto dedicado a todas las personas que creyeron en mí, a todos los que me motivaron a seguir luchando cada día con sus palabras de aliento y sus demostraciones de cariño.

Lina Alexandra Herrera Mateus

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido posible gracias a la colaboración y dedicación de diferentes personas, por eso la autora expresa su agradecimiento a:

*El **ingeniero Marco Loaiza** gerente de planta de **AZULK S.A.** por recibirme y abrirme las puertas de la empresa para desarrollar y finalizar este proyecto de grado.*

*El **ingeniero John Álvaro Romero** y la **ingeniera Diana Quevedo** por su especial colaboración en todas las etapas de este proceso.*

*Los operarios de la PTAR, especialmente a **Wilson** por el aporte de todo su conocimiento y por su buena disposición y colaboración en todas las actividades programadas para la realización de este proyecto.*

*La **ingeniera Elizabeth Torres** por todos sus aportes estructurales al documento, sus constantes asesorías, su apoyo técnico y su paciencia en los momentos de dificultades.*

*La **Fundación Universidad de América**, por ser la fuente del conocimiento, por las enseñanzas y todo el apoyo profesional.*

Finalmente a todas y cada una de las personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este proyecto de grado.

Mil gracias!.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. GENERALIDADES	23
1.1 LA EMPRESA AZULK S.A.	23
1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN	24
1.2.1 Jabón azul	25
1.2.2 Jabón blanco	25
1.2.3 Jabón tocador	26
1.2.4 Glicerina	26
1.2.5 Limpiador líquido	27
1.2.6 Crema lava-loza	27
1.3 VERTIMIENTO DE LA INDUSTRIA DEL JABÓN	27
1.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	29
1.4.1 Tratamiento primario	29
1.4.2 Tratamiento secundario	31
1.4.3 Tratamiento terciario	31
1.5 MARCO LEGAL.	33
2. DIAGNÓSTICO DE LA PTAR	35
2.1 BALANCE HÍDRICO	35
2.1.1 Fuentes de suministro de agua a la planta	35
2.1.2 Redes de aguas residuales	35
2.1.3 Agua de consumo.	36
2.1.4 Agua residual generada	38
2.1.5 Balance de agua.	43
2.2 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACTUAL	44
2.2.1 Recepción y Homogenización	44
2.2.1.1 Trampa de grasas	44
2.2.1.2 Pozo de Captación	45
2.2.1.3 Tanque Homogenizador	47
2.2.2 Tratamiento Primario	48
2.2.2.1 Coagulación	48
2.2.2.2 Floculación	49
2.2.2.3 Clarificación	50
2.2.3 Tratamiento Secundario	51
2.2.3.1 Lodos Activados o Tratamiento biológico	51
2.2.4 Tratamiento Terciario.	52
2.2.4.1 Filtros	52
2.2.5 Deshidratación de lodos	54
2.2.5.1 Filtro prensa	54

2.2.6	Comportamiento del pH, temperatura y caudal promedio.	55
2.2.6.1	Temperatura.	55
2.2.6.2.	pH. 56	
2.2.6.3	Caudal.	56
2.3	CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE	57
2.3.1	Método de muestreo	57
2.4	ANÁLISIS DE PUNTOS CRÍTICOS.	58
2.5	ANÁLISIS DEL DIAGNÓSTICO	59
2.5.1	Fallas operacionales.	60
2.5.2	Fallas de mantenimiento.	60
2.5.3	Fallas técnicas.	61
3.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA	62
3.1	PLANTEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA	62
3.1.1	Parámetros representativos a tener en cuenta.	62
3.1.2	Propuestas de mejora.	62
3.2	DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA PROPUESTA DE MEJORA	63
3.2.1	Diseño trampa de grasas “Malacate”.	64
3.2.2	Ajuste de la dosificación de reactivos.	68
3.2.2.1	Neutralización.	68
3.2.2.2	Clarificación.	69
3.2.2.3	Descripción de reactivos a usar para clarificar.	69
3.2.2.4	Test de jarras.	70
3.2.3	Filtros.	76
3.2.3.1	Especificación de la arena.	77
4.	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA PRESENTADA	82
4.1	TRAMPA DE GRASAS.	82
4.2	DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS QUÍMICOS	83
4.2.1	Cantidad de reactivos necesarios para la mejora.	84
4.3	FILTROS DE ARENA, GRAVA Y CARBÓN.	85
4.3.1	Arena y grava.	85
4.3.2	Cantidad de arena necesaria para el filtro.	86
4.3.3	Filtro de carbón activado.	86
5.	ANÁLISIS FINANCIERO	87
5.1	COSTOS DE LA PTAR EN LA ACTUALIDAD	87
5.1.1	Reactivos.	87
5.1.2	Mano de obra.	88
5.1.3	Gasto energético.	88
5.1.4	Sanciones.	91
5.1.5	Sellamientos.	94
5.1.6	Análisis de costos del funcionamiento actual de la PTAR	95
5.2	COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN PARA LA MEJORA PROPUESTA	95

5.2.1	Reactivos presentes en la propuesta de mejora.	95
5.2.2	Mano de obra necesaria para la propuesta de mejora	96
5.2.3	Gasto energético para la propuesta de mejora.	96
5.2.4	Adquisición de equipos e instalación	97
5.2.5	Análisis de costos con la implementación de mejora.	97
5.3	FLUJO DE CAJA	97
5.3.1.	Análisis de los resultados de los flujos de caja.	99
5.4	RELACIÓN COSTO – BENEFICIO	99
6.	CONCLUSIONES.	100
7.	RECOMENDACIONES	102
	BIBLIOGRAFÍA	103
	ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Etapas de los procesos productivos en AzulK S.A.	24
Tabla 2. Parámetros de la Resolución 0631 de 2015, para la fabricación de jabones, detergentes y productos cosméticos.	33
Tabla 3. Información técnica de la cuenta contrato.	35
Tabla 4. Distribución de consumos de agua en m ³ /mes en AzulK S.A.	37
Tabla 5. Cálculo de consumos de agua doméstica por empleado permanente.	39
Tabla 6. Cálculo de consumos de agua doméstica por visitante externo.	39
Tabla 7. Fuentes de vertimiento de agua residual dirigida a la PTAR.	41
Tabla 8. Porcentajes de remoción de diseño de la PTAR.	44
Tabla 9. Descripción de la trampa de grasas de la PTAR.	45
Tabla 10. Resultados de la caracterización sobre la trampa de grasas.	45
Tabla 11. Descripción del pozo de captación de la PTAR.	46
Tabla 12. Resultados de la caracterización en el pozo de captación.	46
Tabla 13. Especificaciones del tanque homogenizador de la PTAR.	47
Tabla 14. Resultados de la caracterización en el tanque homogenizador.	48
Tabla 15. Descripción del sistema de coagulación y floculación de la PTAR.	49
Tabla 16. Resultados de la caracterización en el tanque de floculación.	49
Tabla 17. Descripción del tanque clarificador de la PTAR.	50
Tabla 18. Resultados de la caracterización en el tanque clarificador.	50
Tabla 19. Resultados de la caracterización en el reactor biológico.	51
Tabla 20. Condiciones de operación del reactor biológico.	52
Tabla 21. Descripción del sistema de filtración en la PTAR.	53
Tabla 22. Resultados de la caracterización en los filtros.	53
Tabla 23. Descripción del filtro prensa de la PTAR	54
Tabla 24. Resultados de la caracterización comparados con la norma.	58
Tabla 25. Resultados de la medición de grasas y aceites en diferentes puntos de la compañía.	59
Tabla 26. Comparativo de porcentajes de remoción en el tratamiento de floculación.	60
Tabla 27. Unidades de gasto para cálculo de caudal.	65
Tabla 28. Resumen parámetros de diseño para la trampa de grasas malacate.	68
Tabla 29. Condiciones de operación para el ensayo de jarras.	70
Tabla 30. Clasificación del índice Willcomb.	71
Tabla 31. Resultados ensayo 1 de jarras.	72
Tabla 32. Resultados ensayo 2 de jarras	73
Tabla 33. Resultados ensayo 3 de jarras.	73
Tabla 34. Recopilación de los mejores resultados obtenidos en los ensayos de jarras.	74
Tabla 35. Comparación de parámetros críticos con la corrección de dosificación para la clarificación.	75
Tabla 36. Parámetros de diseño para filtros.	76

Tabla 37. Medidas de partículas y cálculo de diámetro.	77
Tabla 38. Cálculo de esfericidad de partícula.	78
Tabla 39. Resultados medición de densidades para partículas.	79
Tabla 40. Resultados del tamizado.	79
Tabla 41. Resultados del cálculo de fracciones másicas y diámetros de partícula.	80
Tabla 42. Resultados de los tratamientos propuesto y su cumplimiento con la normatividad.	81
Tabla 43. Cantidades de reactivo a utilizar por tratamiento, mensual y dilución.	85
Tabla 44. Costo total para los reactivos por tratamiento.	88
Tabla 45. Costo por kWh para las bombas utilizadas en la PTAR.	89
Tabla 46. Ponderación a los atributos de afectación ambiental considerados por la resolución 0631 de 2015.	93
Tabla 47. Variables necesarias para calcular la sanción monetaria.	94
Tabla 48. Costo total mensual actual de la PTAR.	95
Tabla 49. Costo de reactivos de la propuesta de mejora.	95
Tabla 50. Costo de los gastos energéticos implementando la propuesta de mejora.	96
Tabla 51. Costos considerables con la implementación de la mejora.	97
Tabla 52. Flujo de caja para el tratamiento de aguas residuales actual.	98
Tabla 53. Flujo de caja para el tratamiento de aguas residuales de la propuesta de mejora.	98

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Ubicación de la planta de producción AzulK S.A.	23
Figura 2. Lista de procesos relacionados a cada tratamiento.	32
Figura 3. Diagrama de procesos de la PTAR.	54
Figura 4. Vista frontal diseño trampa de grasas	64
Figura 5. Medidas trampa de grasas malacate, vista superior.	65
Figura 6. Formación capa de grasa y sólidos.	67
Figura 7. Primer ensayo de jarras.	72
Figura 8. Segundo ensayo de jarras.	73
Figura 9. Tercer ensayo de jarras.	74
Figura 10. Diseño del filtro para ensayo.	77
Figura 11. Vista frontal y lateral del diseño de la trampa de grasas malacate.	82
Figura 12. Forma de empaquetado de filtro de arena y grava.	86

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Registro de consumos de agua mensual.	36
Gráfica 2. Vertimientos de agua en procesos productivos de AzulK S.A. en m ³ /mes.	42
Gráfica 3. Registro promedio de la temperatura a la salida de la PTAR de AzulKS.A.	55
Gráfica 4. Registro promedio de pH a la salida de la PTAR en AzulK S.A.	56
Gráfica 5. Registro promedio de caudal a la salida de la PTAR en AzulK S.A.	57
Gráfica 6. Curva de neutralización con adición de NaOH	69

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo de caudal suministrado por la EAB	37
Ecuación 2. Cálculo del consumo de agua doméstica por empleado permanente.	39
Ecuación 3. Cálculo del consumo de agua doméstica por personal externo.	40
Ecuación 4. Cálculo de agua residual doméstica.	40
Ecuación 5. Ley de conservación de la materia.	43
Ecuación 6. Cálculo de caudal máximo de diseño para trampa de grasa.	65
Ecuación 7. Cálculo de carga hidráulica superficial.	66
Ecuación 8. Fórmula general para cálculos en disoluciones.	71
Ecuación 9. Cálculo de esfericidad usando el diámetro geométrico.	78
Ecuación 10. Fórmula general para cálculo de densidad.	79
Ecuación 11. Cálculo del diámetro medio superficie-volumen.	80
Ecuación 12. Cantidad de arena requerida por cada cámara filtrante.	86
Ecuación 13. Arena gastada en cada tratamiento de aguas residuales.	87
Ecuación 14. Costo mensual de reactivos para tratamiento.	88
Ecuación 15. Cálculo de tasación de multa por incumplimiento.	91
Ecuación 16. Cálculo del beneficio ilícito.	91
Ecuación 17. Cálculo del factor de temporalidad.	92
Ecuación 18. Cálculo de la importancia de afectación.	93
Ecuación 19. Cálculo de las unidades monetarias por afectación.	93
Ecuación 20. Cálculo mensual de los reactivos utilizados en la propuesta de mejora.	96
Ecuación 21. Relación beneficio - costo aplicada al proyecto.	99

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha de seguridad Hidróxido de sodio.	107
Anexo B. Ficha de seguridad Sulfato de Aluminio	109
Anexo C. Plano de la PTAR actualmente.	110
Anexo D. Ubicación del malacate en la planta de producción.	111
Anexo E. Plano ubicación de la nueva trampa de grasas y la PTAR.	112
Anexo F. Resultados caracterización final ANALQUIM LTDA.	113
Anexo G Resolución 2086, instructivo para tasación de multas sancionatorias.	115

GLOSARIO

AFLUENTE: agua residual o cualquier líquido que ingresa a un proceso para ser tratado.

AGUA RESIDUAL: agua producida como resultado de las actividades industriales, agrícolas o urbanas. Son muy variables en su caudal y composición con diferentes características en sus vertidos, esto genera problemas de contaminación que requiere de tratamiento.¹

ALCALINIDAD: esta característica es provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por adición de ácidos.²

CLARIFICADOR: máquina o equipo industrial que es empleado para la separación de sólidos del agua residual mediante el efecto de gravedad y movimientos mecánicos sobre el agua.

COAGULACIÓN: es un proceso por medio del cual se busca incrementar la tendencia de las partículas para agregarse sobre otras con el fin de obtener mayores tamaños y precipitar más rápidamente.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): cantidad de oxígeno que es utilizado para estabilizar la materia orgánica por acción de microorganismos para unas condiciones de tiempo y temperatura fijas que regularmente se establecen en 5 días y 20°C.³

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): representa la cantidad de oxígeno que es necesaria para la oxidación química de la materia orgánica.⁴

EFLUENTE: fluido saliente de cualquier sistema de tratamiento

FILTRACIÓN: es un método de separación física que se utiliza para separar sólidos de fluidos, empleando un medio permeable que sea capaz de retener dichas partículas y permitir únicamente el paso de líquidos.

¹ SOSTENIBLE, M. D. (10 de septiembre de 2007). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Toma de muestras de aguas residuales*. Bogotá D.C., Colombia

² Salvador, P. M. (1999). Ingeniería Ambiental. México: Prentice Hall.

³ NEMEROW, N. L. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. ISBN 8479783370 ISBN 8479783370. España: Ediciones Días de Santos.

⁴ NEMEROW, N. L. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. ISBN 8479783370 ISBN 8479783370. España: Ediciones Días de Santos.

FLOCULACIÓN: es un proceso que consiste en agitar la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos formados con el fin de aumentar el tamaño y peso de partícula permitiendo la sedimentación.

LODO: es la suspensión de un sólido en un líquido que proviene de un sistema de tratamiento de aguas, de residuos líquidos o similares.⁵

LODO BIOLÓGICO: es el lodo sobrante por procesos biológicos de aguas residuales.

MALACATE: zona dentro de la planta de producción de AZULK, que se encuentra en conexión con las pailas de cocción de materia prima y las líneas de vacío.

MUESTRA COMPUESTA: es la combinación de muestras sencillas o sub muestras que son tomadas en el mismo punto pero en distintos tiempos.

MUESTRA PUNTUAL: es la muestra tomada en cualquier momento de forma directa para ser analizada.

PAILA: recipiente de acero inoxidable utilizado en la industria de jabón para la cocción y transformación de las materias primas requeridas.

PLANTA DE TRATAMIENTO: es un sistema construido para tratar aguas residuales para evitar altos grados de contaminación al momento de descargar.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: corresponde a la fracción total de sólidos en el agua que pasan a través de un papel de filtro estandarizado, incluye materia coloidal, compuestos orgánicos solubles e inorgánicos como las sales.⁶

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA: es el tiempo medio teórico que se demoran las partículas del agua en un proceso de tratamiento. Generalmente es la razón entre el caudal y el volumen útil.⁷

TRAMPA DE GRASAS: es un dispositivo utilizado para separar residuos sólidos y grasas de aguas residuales industriales por medio de un proceso físico.

⁵ SOSTENIBLE, M. D. (10 de septiembre de 2007). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Toma de muestras de aguas residuales*. Bogotá D.C., Colombia.

⁶ RIGOLA, L. M. (1990). *Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo S.A.

⁷ ECONÓMICO, M. D. (28 de Julio de 2000). RAS-2000. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá D.C., COLOMBIA: Sección II. Título E.

VERTIMIENTO: cualquier descarga final de un elemento, sustancia o compuesto, contenido en un líquido residual de cualquier origen a un cuerpo de agua específico.

RESUMEN

Para el desarrollo del trabajo de grado aquí presentado se realizó un diagnóstico tanto del proceso productivo como del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa AZULK S.A., posteriormente por medio de una caracterización se realizó el análisis de las condiciones en las cuales está saliendo el agua residual del tratamiento, determinando que el parámetro más crítico es el de grasas y aceites con valores promedio de 400ppm por diferentes condiciones en el proceso, adicionalmente dado que la DBO₅ y DQO presentan valores de 5976ppm y 4890ppm respectivamente, se decide tenerlos en cuenta durante todo el proyecto. Para dar una solución a esta problemática se procedió a revisar bibliografía para determinar y presentar una propuesta de mejora que se ajustara a los requerimientos de la empresa en cuanto a reactivos y viabilidad, que lograrán la remoción y ajustarán todos los parámetros al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, la resolución 0631 de 2015.

Después de establecer la propuesta de mejora a presentar, se llevó a cabo el desarrollo experimental de la modificación al proceso de clarificación demostrando un porcentaje de reducción para grasas y aceites del 93,63%, para DBO₅ de 97,88%, para la DQO de 97,48% y para sólidos sedimentables del 87%, valores que pese a ser altos no fueron suficientes para lograr el cumplimiento de la normatividad, por lo cual se procedió a realizar una evaluación sobre el lecho filtrante que utiliza actualmente la compañía logrando resultados de remoción muy satisfactorios y dando cumplimiento a la norma que fueron de 97,56% para grasas y aceites, para DBO₅ del 98,24%, para la DQO del 98,30% y finalmente para los sólidos sedimentables del 99%.

Finalmente se realizó un análisis financiero en el cual se tuvieron en cuenta los costos actuales de operación de la PTAR y su posible sanción por incumplimiento de parámetros, contrastando los costos de inversión y de operación implementando la propuesta de mejora.

Palabras clave. Tratamiento de aguas residuales, tratamiento físico-químico, coagulación, floculación, filtración, grasas y aceites.

INTRODUCCIÓN

AZULK S.A. es una compañía colombiana dedicada a la producción y comercialización de productos de aseo vigente desde 1958, actualmente se encuentra ubicada en el sector industrial de la Sevillana en la ciudad de Bogotá. La planta de producción a lo largo de los años se ha ajustado a los requerimientos del mercado y a las exigencias legales y productivas del país, esto fue demostrado por el constante cumplimiento de la norma 3957 de 2009, por medio de la cual se establecía el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el distrito. Dado el cambio de la normatividad ambiental y las nuevas exigencias por parte de los entes de control, se implementó la resolución 0631 de 2015, que según la actividad económica que se lleve a cabo en la industria, establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua superficiales y al sistema de alcantarillado público, razón por la cual AZULK. S.A se ve en la necesidad de efectuar un plan de gestión que permita realizar el ajuste de sus condiciones de operación para el cumplimiento de los parámetros y valores exigidos por la nueva norma, ya que según datos obtenidos por caracterizaciones del efluente final, no cumple con los valores allí establecidos.

Dentro de sus actividades productivas, AZULK genera 1800 m³/mes de residuos líquidos que son conducidos hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, la cual fue construida en 1998 y diseñada para obtener eficiencias de remoción de contaminantes mayores al 85% para un caudal máximo de 1,2m³/h, pero en la actualidad tan solo alcanza el 65% de remoción de forma inestable y tiene un caudal promedio de 2,5m³/h, por lo cual se considera que se encuentra sub-especificada.

Teniendo en cuenta que AZULK.S.A es una compañía reconocida en su actividad comercial y de gran prestigio, se plantea una propuesta de mejora, corrigiendo la calidad del efluente y teniendo en cuenta la eficiencia del proceso, con el fin de disminuir el impacto ambiental generado en los vertimientos por la contaminación del agua, y evitando sanciones por parte de las autoridades ambientales pertinentes por el incumplimiento de la norma.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa AZULK S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales
- Seleccionar una alternativa de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Establecer los requerimientos técnicos de la alternativa seleccionada.
- Realizar el análisis costo – beneficio de la alternativa seleccionada.

1. GENERALIDADES

Con el objetivo de dar un panorama general de la empresa, en este capítulo se realiza una breve descripción de la empresa AZULK S.A. y sus principales productos disponibles en el mercado, como lo son el jabón azul, jabón blanco, jabón tocador, glicerina, limpiador líquido y crema lava-loza.

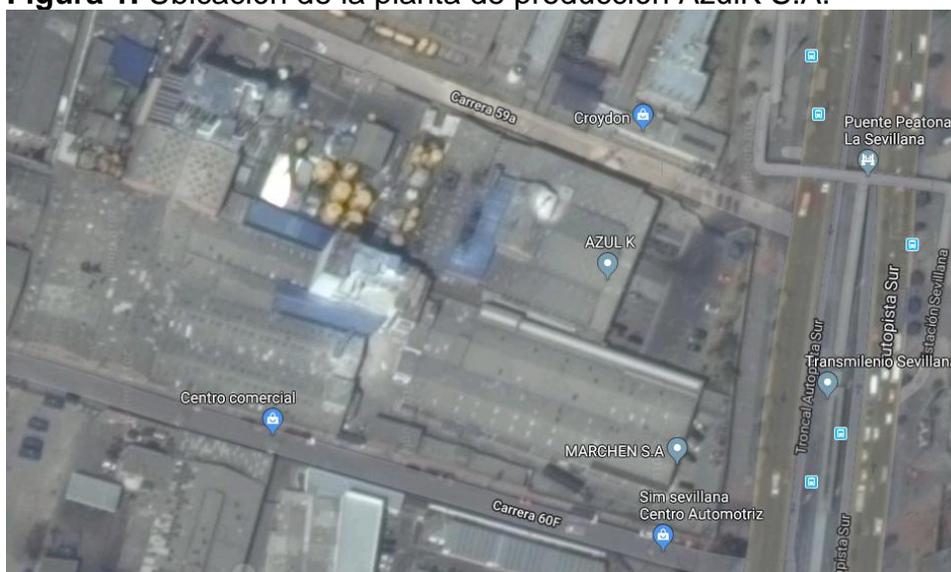
1.1 LA EMPRESA AZULK S.A.

Es una compañía colombiana dedicada a la manufactura y comercialización de productos para el aseo personal, de las prendas y del hogar, vigente en el mercado colombiano desde el año 1958.

Desde que esta empresa fue constituida, se ha destacado por su capacidad y experiencia para dar solución a las necesidades de sus clientes y consumidores logrando el reconocimiento de calidad, seguridad y funcionalidad de sus marcas, así mismo por el cumplimiento de la legislación vigente y demás requisitos nacionales que son aplicables al negocio, por lo cual es reconocida como una de las principales maquiladoras de jabón tocador del país.

Se encuentra ubicada en la autopista sur No. 60-51 en la zona industrial de la Sevillana en la ciudad de Bogotá, la producción estimada es de 1100 ton/mes, laborando con una jornada de trabajo de 24 horas de lunes a sábado y los domingos de 6:00 am a 10:00 pm. El personal está constituido por aproximadamente 450 personas teniendo en cuenta las áreas de administración, producción, operaciones técnicas y de mantenimiento, ventas y personal ocasional.

Figura 1. Ubicación de la planta de producción AzulK S.A.



1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Por medio de la **Tabla 1** se realiza una descripción de las consideraciones básicas del proceso productivo de AzulK S.A. teniendo en cuenta que es a partir de allí de donde se generan todos los residuos líquidos que son llevados y tratados actualmente en la PTAR.

Tabla 1. Etapas de los procesos productivos en AzulK S.A.

PROCESO	AREAS	ETAPAS	
JABÓN AZUL	Paila	Saponificación Reposo Finalización Reposo de finalización	
	Vacío 1	Secado Extrusión Cortado y troquelado	
	Empacado	Envoltura	
	Blanqueo	Blanqueo	
JABÓN BLANCO	Filtración	Filtración	
	<u>Desodorización</u>	<u>Desodorización</u>	
	Paila	Saponificación Reposo Lavado de reposo Finalización Reposo de finalización	
	<u>Vacío 2</u>	Secado Extrusión Cortado y troquelado	
	empacado	Envoltura	
	JABÓN TOCADOR	Paila	Saponificación Reposo primer lavado Segundo lavado Reposo Finalización Reposo de finalización
		Vacío 2	Secado
Tocador		Mezcladora Compactación Cortado y troquelado	
Empacado		Envoltura	
GLICERINA		Paila tratamiento ácido	Cambio de pH
	Filtro	Filtración	
	Paila tratamiento alcalino	Cambio de pH	
	Filtro	Filtración	
	Evaporación	Evaporador 1 Evaporador 2 Evaporador 3	
	Destilación	Condensación Filtración	
	Blanqueo	Filtración	

Tabla 1. (Continuación)

LIMPIADOR LÍQUIDO	Almacenamiento MP	Almacenamiento
	Preparación MP	Pesado de reactivos
	Mixer	Mezcla rápida
	Maxter	Mezcla lenta
	Producto terminado	Adición de colorante, perfume y agua
		Almacenamiento Reposo
	Llenado	Llenado y sellado automático
CREMA LAVA-LOZA	Almacenamiento MP	Almacenamiento
	Preparación de producto	Ajuste de Ph, viscosidad, color, olor, textura
	Producto terminado	Almacenamiento Reposo
		Llenado de envase
	Empacado	Sellado manual

Fuente: elaboración propia

1.2.1 Jabón azul. El proceso de transformación de materias primas en jabón azul inicia en el cargue de pailas que comienza con el bombeo de la mezcla de grasas a la paila, éstas son sebo de tipo C y estearina, la incorporación de soda cáustica a intervalos de tiempo regulares, la adición de vapor de agua para agitar hasta alcanzar la saponificación en un tiempo aproximado de seis (6) horas, posteriormente se añade sal para realizar un solo corte, se analizan los parámetros de calidad a cumplir y se deja en reposo por doce (12) horas, posteriormente se separa la lejía del jabón. Se adiciona el colorante azul hasta alcanzar la homogenización del color y de allí se pasa a la línea de vacío 1, allí es donde se adiciona silicato con el fin de darle un rendimiento del 19%, se retira la humedad, por extrusión sale la barra de jabón, se corta del tamaño deseado y es troquelado según el tipo de jabón que sea requerido.

En esta área se genera agua residual debido a los lavados de pisos y equipos realizados y reboces ocasionales en el pozo barométrico.

Finalmente, la máquina troqueladora subdivide de forma automática las barras que se han obtenido, moldeando según el tamaño y forma definida, posteriormente se conducen las pastas de jabón por una banda transportadora con sistema de enfriamiento al proceso de empacado. El jabon es envuelto por la empacadora automática y puesto de forma manual en empaques de tres (3), cuatro (4) y cinco (5) unidades para su distribución y comercialización en cajas de cartón.

1.2.2 Jabón blanco. en esta categoría se incluyen el jabón coco y el extra blanco, para obtenerlos la grasa proveniente de la zona de recepción de materias primas es blanqueada por medio de un autoclave mediante la adición de carbón activado, tierra natril y filtración , luego se hace la desodorización donde se introduce la grasa ya blanqueada y mediante la aplicación de ácido cítrico se

inactiva el olor original de la grasa, posteriormente se cargan las pailas con las grasas (sebo tipo A y estearina), simultáneamente se adiciona soda cáustica y agua hasta que termine la reacción de saponificación con un reposo de 5 a 6 horas aproximadamente, se analizan los parámetros de calidad y se deja en reposo por doce (12) horas. Se realiza el lavado correspondiente, se agrega hidrosulfito de sodio y trilon para dar y conservar el característico color blanco, luego es llevado a la línea de vacío 2 para obtener un rendimiento de 16.2% por medio de silicato, finalmente se despoja su humedad, se pasa a extrusión para obtener y cortar las barras, se troquela y pasa a empaque.

Al igual que en el proceso de jabón azul, esta área genera aguas residuales por el lavado de pisos y equipos, adicionalmente los ocasionales rebocos en el pozo barométrico.

1.2.3 Jabón tocador. Los jabones de tocador fabricados por AzulK S.A. son: base de jabón tocador, jabón Lak y jabón Carey. Para realizar este proceso de producción se inicia cargando las pailas con ácido graso y estearina como materias primas, son grasas de alta calidad, no requieren blanqueo ni desodorización. Se agrega soda caustica y agua hasta completar la reacción de saponificación, el reposo se hace de siete (7) a ocho (8) horas, se hacen los análisis de calidad correspondientes, se agrega la sal para dar el corte severo y realizar la separación de fases igual que los otros jabones. Se llevan a cabo dos (2) lavados dentro de la paila y sus finalizaciones correspondientes con reposo de treinta y seis (36) horas. Posteriormente es llevado a la línea de vacío 2 para retirar su humedad, hasta este punto se obtiene la base de jabón tocador que se usa para la fabricación de los jabones de marca propia o para la distribución y comercialización para otras marcas.

En la línea tocador, la base se lleva a una mezcladora, allí se adicionan los colorantes y perfumes según el jabón que se esté preparando, esto pasa a una compactadora, donde se le da la forma y queda listo para el corte y estampado, finalmente se lleva a la empacadora automática y el producto final se lleva a la zona de almacenamiento de producto terminado hasta su distribución final.

1.2.4 Glicerina. Este proceso inicia con un tratamiento ácido en el cual la lejía se convierte en lejía ácida por medio de la adición de ácido clorhídrico (HCl) con el fin de modificar su pH. Posteriormente la paila es sometida a un reposo de dieciocho (18) horas, luego se pasa por un filtro para separar la lejía ácida de un lodo que es llamado lodo ácido, posteriormente se hace tratamiento alcalino y se bombea la lejía a un tanque de tratamiento, se adiciona soda caustica 50% en peso para modificar el pH a neutro, nuevamente se hace pasar por un filtro en el cual se separa la lejía neutra del lodo alcalino, se lleva a cabo un proceso de evaporación y allí se elimina toda el agua contenida en la lejía pasándola por tres (3) evaporadores que adicionalmente decantan sal húmeda y sal seca.

Finalmente la lejía pasa a una destilación y luego a un calderín por medio de tres (3) condensadores para obtener glicerina al 99% junto a un residuo denominado sal quemada, la glicerina es llevada al proceso de blanqueo para optimizar su color y terminar el proceso con el empaqueo y distribución de la misma. En esta área también se presenta un reboce en el pozo barométrico y en la piscina de evaporación, además el lavado del calderín se lleva a cabo con aproximadamente 5m³ de agua limpia.

1.2.5 Limpiador líquido. Para la producción de este, se llevan a cabo procesos físicos, principalmente mezclas rápidas y lentas, se hace la preparación del TILOSE en el Mixer y luego es transportado al Maxter Bach donde son añadidos todos los aditivos y agua. Luego el limpiador es almacenado en el tanque de producto terminado y finalmente es empaqueo y sellado automáticamente. En esta zona los residuos líquidos son mínimos aunque la carga contaminante es muy alta teniendo en cuenta la naturaleza de las materias primas.

1.2.6 Crema lava-loza. Se hace la preparación de las materias primas, teniendo en cuenta la fórmula estándar ya estipulada, se adiciona trifosfato y se agita durante diez (10) minutos aproximadamente, luego se agrega carbonato de sodio lentamente y se agita más rápido y constantemente, luego se adiciona hidróxido de sodio, ácido sulfónico, color y perfume, esto se mezcla en el tanque de preparación y finalmente se lleva a control de calidad y se verifican las especificaciones requeridas. Si el producto cumple con todos los requerimientos se lleva al tanque de dosificación para su correspondiente empaqueo, si no cumple se deben ajustar las variables de proceso y continuar. Los residuos líquidos generados en esta parte del proceso están limitados a servicios, es decir, lavados de pisos y de instrumentos.

1.3 VERTIMIENTO DE LA INDUSTRIA DEL JABÓN

El efluente de la industria de jabones se caracteriza por realizar modificaciones físicas sobre la fuente receptora, alterando los niveles y concentraciones normales de diferentes componentes químicos naturales del agua y de la misma forma agregando nuevas y extrañas sustancias que pueden representar un peligro para los organismos de ecosistemas acuáticos, razón por la cual se dice que genera contaminación. Los contaminantes que se encuentran habitualmente en las aguas residuales provenientes de la industria del jabón son:

- Grasas y aceites: aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que cuando se mezclan con agua permanecen en la superficie generando natas o espumas⁸

⁸ ANDIA CARDENAS, Y. (8 de abril de 2000). *Tratamiento de aguas, coagulación y floculación*. . Recuperado el 17 de marzo de 2018, de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

que entorpecen cualquier tipo de tratamiento, por lo cual se deben eliminar en los primeros pasos.

- Residuos con requerimientos de oxígeno: compuestos que pueden ser de carácter orgánico o inorgánico, caracterizados por sufrir fácilmente procesos de oxidación⁹ con el consumo de oxígeno del medio. Las oxidaciones se realizan por vía química o biológica.
- Nitrógeno y fósforo: su presencia en aguas residuales es debido a los detergentes y son principalmente culpables del deterioro de masas acuáticas.
- Color y olor: la coloración se clasifica en verdadera, real y aparente, las dos primeras se deben a las sustancias que están en solución y la última tiene color debido a las sustancias en suspensión. El olor está definido como el conjunto de sensaciones percibidas al olfato cuando capta ciertas sustancias volátiles.
- Turbidez: se debe a la presencia de materia que se encuentra finamente dividida y en suspensión¹⁰, tales como arcillas, partículas de sílice, limos, materia inorgánica, entre otros.
- Materia sólida: se divide en tres categorías, materias decantables, materia en suspensión y residuos. Los residuos contienen los sólidos disueltos y particulados. Los sólidos disueltos son capaces de atravesar el papel filtro mientras que los suspendidos no pueden hacerlo¹¹. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables según el número de miligramos de solido depositados en un volumen conocido de agua para un tiempo determinado. Todos estos sólidos se pueden dividir en volátiles (productos orgánicos) y fijos¹² (materia inorgánica o mineral).
- Acidez y alcalinidad: la acidez depende de la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles, mientras que la alcalinidad depende de la presencia de bicarbonatos y carbonatos de hidróxidos.

⁹ Ambientum. (Junio de 2002). Revista Ambientum. Recuperado el 3 de Abril de 2018, de http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCCNG1_imprimir.htm

¹⁰ RAMALHO, R. S. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: Reverte.

¹¹ RIGOLA, L. M. (1990). Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de proceso y residuales. Barcelona, España: Marcombo S.A.

¹² Analiza Calidad Asesores. (2010). Analiza Calidad Asesores. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://www.analizacalidad.com>

- Carbono orgánico total (TOC): compuestos orgánicos fijos o volátiles, naturales o sintéticos.
- Otros: Hace referencia a contaminantes específicos de naturaleza muy diversa provenientes de fuentes muy concretas como metales pesados, fenoles, hidrocarburos, pesticidas, etc.

1.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

En el proceso de fabricación del jabón se requiere del uso de diferentes compuestos y entre los más importantes se encuentra el agua, ya que es necesaria para la formación del compuesto alcalino característico, adicionalmente en diferentes procesos se producen aguas residuales que por sus condiciones finales deben ser tratadas con el fin de proteger la salud ambiental y aprovechar este recurso al máximo.

Para este tipo de industria se han estudiado diferentes diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), dichas plantas generalmente constan de tratamientos, primarios, secundarios y terciarios, cada uno de estos especializado en un tipo de contaminantes específicos teniendo como objetivo su máxima reducción o su definitiva eliminación.

1.4.1 Tratamiento primario. Este sistema inicial o también llamado tratamiento físico-químico, consiste en eliminar los sólidos gruesos y material flotante con el fin de reducir la carga contaminante del agua residual y evitar interferencias en las etapas posteriores del tratamiento, se realiza por medio de métodos gravitacionales con o sin reactivos¹³. Los principales procesos que se realizan en esta etapa son¹⁴:

- Igualación: en este se busca la homogenización del caudal y las concentraciones de los contaminantes con el fin de mejorar la efectividad de los procesos posteriores¹⁵. Se pueden utilizar unidades de tratamiento con asistencia mecánica o aireada para la mezcla.

¹³ SPENA GROUP. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/#1481577066415-f5edacbf-4824>

¹⁴ ASESORES., A. C. (20 de marzo de 2015). Tratamiento de aguas residuales industriales. . Recuperado el 2 de octubre de 2018, de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

¹⁵ ANDIA CARDENAS, Y. (8 de abril de 2000). Tratamiento de aguas, coagulación y floculación. . Recuperado el 17 de marzo de 2018, de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

- Desbaste grueso: tiene como objetivo retener aquellos sólidos que tengan un diámetro entre 5 y 10mm para así evitar obstrucciones en las unidades posteriores.
- Aforo de caudal: se busca regular el caudal para mantenerlo constante en la alimentación a la planta. Se usan estrategias como la instalación de vertederos, canaletas o cajas reguladoras de caudal.
- Remoción de arenas: tiene como fin retirar los sólidos pesados o las partículas discretas que se representan como arenas. Se realiza en desarenadores convencionales.
- Remoción de grasas no emulsionadas: en este proceso se busca acondicionar el agua para llevarlo al tratamiento biológico posterior y así reducir las cargas contaminantes por grasas, es un proceso crítico en el tratamiento¹⁶, se utilizan trampas de grasas o desnatadoras según el tipo de industria.
- Desbaste fino: tiene como objetivo eliminar partículas en suspensión o material particulado fino y evitar obstrucciones en etapas posteriores.
- Control de caudal: se busca regular el caudal para cada una de las operaciones unitarias involucradas en el sistema, esto se lleva a cabo por medio de válvulas, cajas reguladoras o medidores de flujo.
- Coagulación: tiene como objetivo equilibrar las cargas eléctricas de las sustancias coloidales sus unidades de tratamiento pueden ser conos de mezcla o de asistencia mecánica.
- Floculación: se hace aglomeración de las partículas coaguladas para posteriormente flocularlas y ocasionar una precipitación de las mismas, se usan equipos como el serpentín de carácter tubular o un manto de lodos.¹⁷
- Flotación: se hace para remover los sólidos suspendidos y las grasas y aceites presentes en el agua, se realiza por sistemas de aire disuelto o de aire disperso.
- Sedimentación: busca reducir la contaminación de sólidos suspendidos que tienen peso específico mayor al del agua tratada, estos tanques pueden ser de forma circular, rectangular o troncocónico.

¹⁶ NEMEROW, N. L. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. ISBN 8479783370 ISBN 8479783370. España: Ediciones Días de Santos.

¹⁷ ASESORES., A. C. (20 de marzo de 2015). Tratamiento de aguas residuales industriales. . Recuperado el 2 de octubre de 2018, de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

1.4.2 Tratamiento secundario. También llamado tratamiento biológico, se realiza con ayuda de microorganismos capaces de remover materia biodegradable disuelta en el agua residual, se usan sistemas de tratamiento aeróbico por medio de la adición de aire o anaeróbico¹⁸ sin la presencia de oxígeno. se busca reducir principalmente parámetros como la DBO₅, la DQO y otros contaminantes biodegradables. El tratamiento aeróbico se realiza por medio de sistemas de lodos activados, laguna aireada o un filtro percolador mientras que el anaeróbico puede utilizar reactor de lecho expandido¹⁹.

1.4.3 Tratamiento terciario. Esta etapa tiene como fin el retiro de contaminantes específicos como el fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, entre otros, por medio de procesos físicos y químicos especializados²⁰, los procesos típicos de esta etapa son²¹:

- Clarificación: cuyo objetivo final es la remoción de partículas suspendidas producidas por el tratamiento biológico anterior, se hace en un clarifloculador.²²
- Filtración: se busca eliminar los flóculos biológicos formados anteriormente, adicionalmente el color, olor y los sólidos disueltos, se utilizan filtros de arena, carbón activado o membranas.

Por medio de la **Figura 2** se resume el sistema de tratamiento de aguas residuales con cada uno de los procesos que intervienen en las diferentes etapas.

¹⁸ ASESORES., A. C. (20 de marzo de 2015). Tratamiento de aguas residuales industriales. . Recuperado el 2 de octubre de 2018, de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

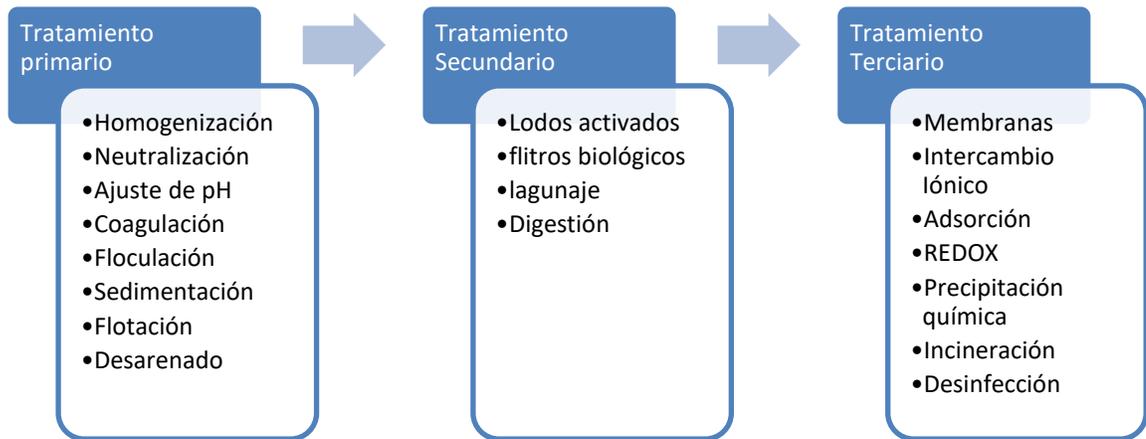
¹⁹ WebMaster - Copyright. (s.f.). SPENA GROUP. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/#1481577066415-f5edacbf-4824>

²⁰ WebMaster - Copyright. (s.f.). SPENA GROUP. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/#1481577066415-f5edacbf-4824>

²¹ Analiza Calidad Asesores. (2010). Analiza Calidad Asesores. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://www.analizacalidad.com>

²² ANDIA CARDENAS, Y. (8 de abril de 2000). Tratamiento de aguas, coagulación y floculación. . Recuperado el 17 de marzo de 2018, de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Figura 2. Lista de procesos relacionados a cada tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

1.5 MARCO LEGAL

La resolución 0631 de 2015 establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpo de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público²³, esta resolución se encuentra actualmente vigente y para el caso de la industria de jabones se aplica el artículo 13 correspondiente al sector de actividades de fabricación y manufactura de bienes. Los valores que dicha resolución expresa para esta actividad industrial se relacionan en la **Tabla 2**

Tabla 2. Parámetros de la Resolución 0631 de 2015, para la fabricación de jabones, detergentes y productos cosméticos.

Parámetro	Valor	Unidades
pH	5,0 a 9,0	Unidades de pH
Demanda química de oxígeno (DQO)	500,0	mg/L O ₂
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	250,0	mg/L O ₂
Sólidos suspendidos totales (SST)	80,0	mg/L
Sólidos sedimentables (SSED)	1,0	mg/L
Grasas y aceites	15,0	mg/L
Fenoles	0,20	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	10,0	mg/L
Hidrocarburos	10,0	mg/L
Cloruros (Cl ⁻)	250,0	mg/L
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	400,0	mg/L
Sulfuros (S ²⁻)	1,0	mg/L
Arsénico (As)	0,1	mg/L
Cadmio (Cd)	0,05	mg/L
Zinc (Zn)	3,0	mg/L
Cobalto (Co)	0,1	mg/L
Cobre (Cu)	1,0	mg/L
Cromo (Cr)	0,5	mg/L
Mercurio (Hg)	0,01	mg/L
Níquel (Ni)	0,5	mg/L
Plomo (Pb)	0,2	mg/L

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 de 2015

²³ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, M. d. (17 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015. Bogotá, Colombia.

El incumplimiento de alguno de los parámetros descritos anteriormente, acarrearía un problema legal para la empresa y es la secretaria distrital de ambiente quien impone las sanciones pertinentes ya que es la encargada de velar por la protección, restauración y conservación de los recursos naturales.

2. DIAGNÓSTICO DE LA PTAR

Para desarrollar el proyecto de investigación, se realizó un estudio sobre las características actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en operación, esto con el fin de tener un punto de partida para establecer el plan de acción de la propuesta de mejora pertinente.

2.1 BALANCE HÍDRICO

Este balance se lleva a cabo con el fin de establecer el consumo de agua en el proceso productivo y en áreas de uso doméstico dentro de la planta como baños y demás, para finalmente determinar la cantidad de agua industrial que es vertida al sistema de alcantarillado de la ciudad.

2.1.1 Fuentes de suministro de agua a la planta. El agua utilizada en la planta para las actividades de producción es suministrada por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, EAAB-ESP, la identificación de dicha cuenta contrato es la relacionada a continuación:

Tabla 3. Información técnica de la cuenta contrato.

Nombre de usuario	FABRICA AZUL K
Dirección de predio	AC 57R SUR. NO. 60 - 51
Cuenta contrato	10115530
Medidor	ELSTER No. 03W003066
Tipo	VELO050C
Diámetro medidor	2 pulgadas
Fuente de abastecimiento	Agua potable Empresa de acueducto
Clase de uso	Industrial

Fuente: EAB - ESP

El suministro y distribución de agua para las diferentes zonas y servicios de la planta se hace por medio de unidades de bombeo, directamente al tanque de almacenamiento de agua potable y posteriormente a la red hidráulica de la compañía.

2.1.2 Redes de aguas residuales. La planta cuenta con una red sanitaria separada para las aguas residuales industriales de las aguas residuales domésticas y aguas lluvias. A la planta de tratamiento solo llegan las de tipo industrial que se generan de los procesos enlistados a continuación:

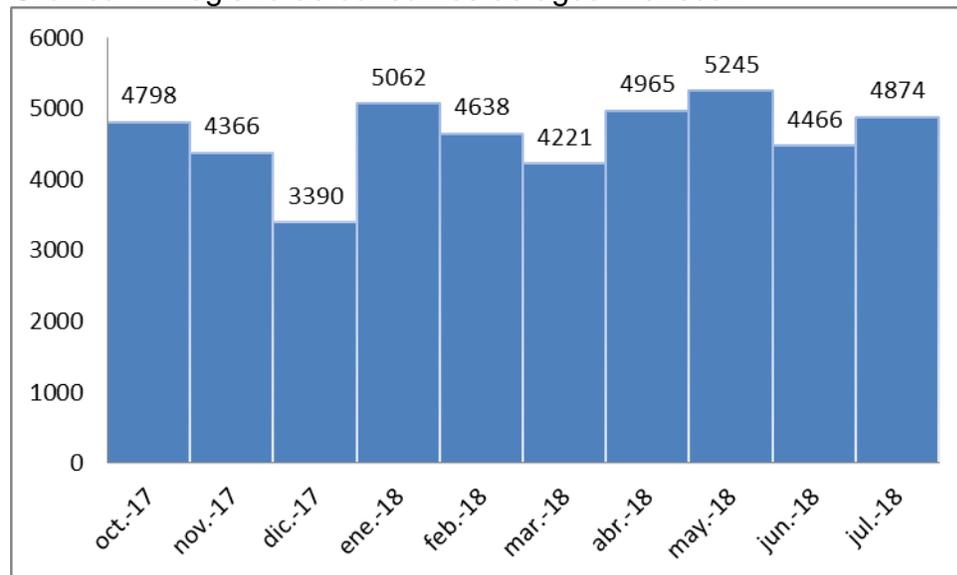
- Planta de tocadores
- Planta de líquidos
- Planta desionizadora

- Planta de glicerina
- Saponificación y desodorizado de grasas
- Planta de secado
- Recepción de materia prima (grasas)
- Mantenimiento
- Bodegas de almacenamiento
- Laboratorio de control de calidad

Así como las generadas por el desarrollo de las actividades propias de limpieza y descarga de las torres de enfriamiento. Cabe aclarar que la planta de detergentes durante su proceso de operación normal no genera ningún tipo de vertimiento, sin embargo en casos de contingencia la empresa dispone de una red de aguas residuales industriales necesaria para el tratamiento de vertimientos generados.

2.1.3 Agua de consumo. Para el cálculo del agua de consumo de AzulK S.A. se tomaron los datos de facturación entregados por la empresa de Acueducto de Bogotá, entre octubre de 2017 y agosto de 2018, en los cuales se reporta un valor de consumo máximo mensual de 5245 m³. Por medio de la **Gráfica 1** se reportan los datos de registro de consumo:

Gráfica 1. Registro de consumos de agua mensual.



Fuente: EAAB – ESP

Cabe aclarar que en la empresa AzulK S.A. se consume agua en las siguientes zonas:

- Áreas administrativas (baños y cafeterías).
- Recepción de materias primas (lavados y vapor de calentamiento).

- Pailas (proceso de saponificación del jabón, refrigeración, lavados, consumo de vapor y corte de lejías).
- Planta de glicerina (refrigeración, consumo de vapor, lavados).
- Planta de vacío I y II (funcionamiento y lavados).
- Planta de tocadores A, B y C (funcionamiento, lavados y refrigeración).
- Planta de líquidos (funcionamiento y lavados).
- Planta de cremas (funcionamiento y lavados).
- PTAR (preparación de reactivos y lavados).

A continuación en la **Tabla 4** se presenta la distribución porcentual y el consumo de agua en las diferentes zonas de la empresa mencionadas anteriormente.

Tabla 4. Distribución de consumos de agua en m³/mes en AZULK S.A.

Zona	Consumo (m3/mes)	Porcentaje
Caldera	2035,7	41%
Oficinas	496,5	10%
Vacio I y II	347,6	7%
Saponificación	794,4	16%
Recepción MP	49,7	1%
Glicerina	198,6	4%
Tocadores	496,5	10%
Líquidos	297,9	6%
Cremas	49,7	1%
Lavados	198,6	4%
TOTAL AGUA CONSUMIDA EN PRODUCCIÓN (m3/mes)		4780,8

Fuente: AZULK S.A.

Para determinar el caudal de agua que es requerida por la empresa, se realiza un cálculo con los valores máximos alcanzados en un determinado periodo de tiempo con los datos suministrados por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (**ver Gráfica 1**) así se obtiene un valor máximo de agua que es necesaria para llevar a cabo los procesos de un día normal de producción, dicho procedimiento es realizado por medio de la **Ecuación 1**

Ecuación 1. Cálculo de caudal suministrado por la EAB

$$Q_T = Q_S * F_T$$

Dónde:

Q_T	Caudal suministrado por la EAB ($m^3/día$)	174,83 $m^3/día$
Q_S	Caudal suministrado por la EAB (m^3/mes)	5245 m^3/mes
F_T	Factor de conversión de tiempo	1 mes/30 días

2.1.4 Agua residual generada. El alcantarillado de AzulK S.A. está dividido en:

- **Aguas domésticas:** Son los residuos generados por sanitarios y cafetería, la planta cuenta en total con 28 unidades sanitarias. En la compañía permanecen aproximadamente 250 empleados de forma permanente dentro de las instalaciones, correspondientes a áreas administrativas y de producción. Adicionalmente se estima que a diario en la compañía se reciben un total de 50 visitantes externos que hacen uso eventual de las instalaciones correspondientes a proveedores, contratistas y visitantes, sumados a unos 100 empleados correspondientes al área de ventas y publicidad.

Para el cálculo de consumos administrativos, se utilizan factores per cápita de consumo que han sido establecidos por el viceministerio de agua y saneamiento básico, en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, teniendo en cuenta el total de personal y las instalaciones con las que se cuenta. Se realiza tomando los valores típicos para los gastos de inodoros y cafeterías en cuanto a frecuencias normales de uso²⁴.

El gasto para la llave de un lavamanos convencional es de 3 gal/min y el tiempo de uso habitualmente es de 20 segundos, para el caso de un inodoro el gasto es de 1,6gal/descarga²⁵. Para este caso las frecuencias de uso serán asumidas de la siguiente manera: para el lavamanos de los empleados permanentes 6 veces al día y del inodoro 4 veces, mientras que para los visitantes externos se considera una vez de uso para los inodoros y los lavamanos.

El cálculo del consumo total por persona se especifica en la **Tabla 5** para los empleados permanentes y en la **Tabla 6** para visitantes externos.

²⁴ Viceministerio de agua y saneamiento básico y universidad de los Andes, departamento de ingeniería civil y ambiental, centro de investigaciones en acueductos y alcantarillados. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Título B. Bogotá, D.C., Colombia, 2010. 978-958-8491-51-6.

²⁵ Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Política nacional de producción más limpia. Bogotá, D.C., 2006. 37-8-40.

Tabla 5. Cálculo de consumos de agua doméstica por empleado permanente.

	Flujo (m ³ /s)	Tiempo de consumo (s)	Frecuencia de uso (día-persona)	Total consumo (m ³ /día-persona)
Lavamanos	1,89,E-04	20	6	2,27,E-02
Inodoros	1,01,E-04		4	4,04,E-04
TOTAL (m ³ /día-persona)				2,31,E-02

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Cálculo de consumos de agua doméstica por visitante externo.

	Flujo (m ³ /s)	Tiempo de consumo (s)	Frecuencia de uso (día-persona)	Total consumo (m ³ /día-persona)
Lavamanos	1,89,E-04	20	1	3,78,E-03
Inodoros	1,01,E-04		1	1,01,E-04
TOTAL (m ³ /día-persona)				3,88,E-03

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta el procedimiento para los cálculos anteriores se obtuvo como resultado para los empleados permanentes un total de 2,31E-02 m³/día-persona y de 3,88E-03 m³/día persona para visitantes externos.

Para calcular el total de agua consumida por empleados permanentes se utiliza la **Ecuación 2**

Ecuación 2. Cálculo del consumo de agua doméstica por empleado permanente.

$$Q_{e-p} = N_{e-p} * C_{e-p}$$

Dónde:

Q _{e-p}	Caudal de agua por consumo de empleado permanente	5,77 m ³ /día
N _{e-p}	Número de empleados permanentes	250 empleados
C _{e-p}	Consumo de agua promedio por empleado permanente	2,31E – 02 m ³ /día-empleado

De igual forma para realizar el cálculo del consumo de agua doméstica realizada por personal externo o visitantes se utilizó la **Ecuación 3**

Ecuación 3. Cálculo del consumo de agua doméstica por personal externo.

$$Q_{p-e} = N_{p-e} * C_{p-e}$$

Dónde:

Q_{p-e}	Caudal de agua por consumo de personal externo	0,58 m ³ /día
N_{p-e}	Número de personal externo	150 empleados
C_{p-e}	Consumo de agua promedio por personal externo	3,88E – 03 m ³ /día- empleado

$$Q_{p-e} = 150 \text{ personal externo} * 3,88E - 03 \frac{\text{m}^3}{\text{día} - \text{empleado}} = 0,58 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Teniendo en cuenta el consumo de agua doméstica por parte del personal permanente y externo de la planta se puede establecer el caudal de agua consumida por uso administrativo por medio de la **Ecuación 4** descrita a continuación.

Ecuación 4. Cálculo de agua residual doméstica.

$$Q_{A.R.D} = Q_{e-p} + Q_{p-e}$$

Dónde:

$Q_{A.R.D}$	Caudal de agua residual doméstica	6,35 m ³ /día
Q_{p-e}	Caudal de agua consumida por personal externo	0,58 m ³ /día
Q_{e-p}	Caudal de agua consumida por empleados permanentes	5,77 m ³ /día

- Aguas lluvias: Red especial de aguas lluvias canalizadas a lo largo de la compañía que evitan su mezcla con las demás redes.
- Aguas industriales: Estos residuos son el centro de esta investigación, los efluentes de este tipo provienen de: descargue de materia prima, lavado de equipos y zonas de producción, purgas de calderas y silos, condensados, rebocos y grietas, secado de jabón, evaporación y destilación de glicerina y lavados de fin de proceso. Esta información se puede detallar por medio de la

Tabla 7 en la cual se expresan los datos en m³/mes especificando el origen y la cantidad de agua residual proveniente del proceso productivo en Azulk S.A.

Tabla 7. Fuentes de vertimiento de agua residual dirigida a la PTAR.

<u>Zona</u>	<u>Cantidad de agua vertida (m3/mes)</u>	<u>Descripción</u>
Glicerina	81,36	Este volumen corresponde al agua generada por lavado de pisos, reboces en el pozo barométrico de evaporación, en la piscina torre de evaporación y en el pozo barométrico de destilación, los lavados del calderín y a la salida de condensados.
Calderas	80,51	El volumen corresponde a la purga de las tres calderas y a pérdidas de agua por grietas en el pozo de las calderas.
Recepción de materias primas	38,79	El volumen corresponde al lavado de pisos y la purga que se realiza a los siete silos.
Laboratorio	35,49	Volumen generado por el destilador, los digestores para DQO, el lavadero y los condensadores G y A.
Vacío II	14,93	El volumen corresponde al reboce del pozo barométrico y al lavado de la torre barométrica.
PTAR	8,57	Volumen correspondiente al retrolavado de los filtros.
P. Líquidos	6,71	El volumen es generado por el lavado de equipos, de instrumentos y de traperos.
P. Crema lava-loza	3,00	El volumen es generado por el lavado de equipos y de traperos.
P. Jabón Tocador	2,86	Volumen correspondiente a los lavados que se realizan para cambio de formato.
Vacío I	1,24	Volumen generado por el reboce en el pozo barométrico y el lavado de pisos y equipos.
TOTAL AGUA RESIDUAL GENERADA DE LOS PROCESOS (m3/mes)		273,46

Fuente: AZULK S.A.

Por medio de la **Tabla 7** se pueden apreciar los procesos dentro de la planta en los cuales se vierte agua residual y es conducida a la PTAR para su tratamiento correspondiente, el volumen total de agua residual proveniente de dichos procesos es de 273,46 m³/mes, del cual la cantidad más importante es aportada por la planta de glicerina con un valor de 81,36 m³/mes, esto teniendo en cuenta que en esta zona se cuenta con procesos de lavado de pisos y del calderín, hay reboces

importantes en el pozo barométrico de evaporación y destilación, en la piscina de evaporación y a la salida de los condensados, adicionalmente se generan efluentes por las bajas presiones en los sistemas de vacío.

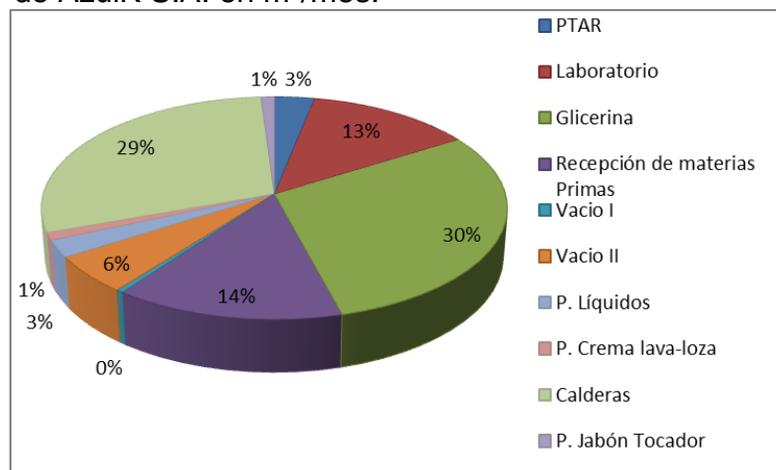
Por otro lado se puede apreciar que la zona donde menos se generan residuos de agua es en la zona de vacío I, la cual aporta un total de 1,24 m³/mes, esto se debe a que allí se hace un secado del jabón donde se retira solo un 4% de la humedad existente en el producto.

La zona de lavados de AzulK S.A. se considera importante para la carga de vertimientos de aguas residuales, teniendo en cuenta que en todos los procesos de la planta de producción se realiza este procedimiento que involucra: lavado de pisos, lavado de traperos, lavado de equipos, lavado de instrumentos, entre otros.

Es así como toda el agua que se genera, es encaminada a la red de recolección interna para dirigirla al pozo de captación que ingresa a la red de aguas de la PTAR, realizar el tratamiento correspondiente y finalmente entregarla a la red de alcantarillado distrital.

Teniendo en cuenta la información anteriormente descrita se puede concluir que en los procesos productivos se desecha un total de 273,46 m³/mes de agua que son conducidos a la PTAR para su posterior tratamiento, los datos fueron tomados durante el mes de junio del año 2018 a través del método de aforo y cuantificación de caudales.

Gráfica 2. Vertimientos de agua en procesos productivos de AzulK S.A. en m³/mes.



Fuente: elaboración propia

Por medio de la **Gráfica 2** se pueden apreciar los porcentajes aportados por cada una de las áreas de proceso de la planta de producción respecto a los vertimientos que son conducidos a la PTAR para su posterior tratamiento, las zonas donde más

vertimientos se generan son la planta de glicerina con un porcentaje del 30%, seguido por el área de calderas con un 29% y el área de recepción de materias primas con el 14%.

2.1.5 Balance de agua. Por medio de este balance se pretende cuantificar el volumen de agua residual que se produce en AzulK, y que es dirigida al sistema de tratamiento, para ello se utilizó la Ecuación 5 que corresponde a la ley de conservación de la materia, como se muestra a continuación:

Ecuación 5. Ley de conservación de la materia.

$$\sum \text{Agua de entrada} = \sum \text{Agua de salida}$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se han establecido como entradas y salidas, las siguientes:

$$Q_T = Q_{A.R.I} + Q_{A.R.D} + Q_{P.P}$$

Dónde:

Q_T	Caudal suministrado por la EAB	5245 m ³ /mes
$Q_{A.R.I}$	Caudal de agua residual industrial vertida	273,46 m ³ /día
$Q_{A.R.D}$	Caudal de agua residual doméstica	190,5 m ³ /día
$Q_{P.P}$	Caudal de agua consumida en producción	4780,8 m ³ /día

Según el balance realizado se determina que hay un caudal de 4780,8 m³/mes de agua que son utilizados en el proceso productivo, esto se debe a que el agua es uno de los recursos y materias primas más importantes para la empresa AzulK, por lo cual ha sido clasificada por la empresa de Acueducto de Bogotá como un gran consumidor según la facturación expedida por la EAB.

De igual forma se estima que a diario son conducidos a la PTAR aproximadamente 16 m³ de agua residual para su posterior tratamiento, cabe aclarar que dicho valor puede variar teniendo en cuenta que el cálculo de agua residual doméstica se realizó de forma estimativa, y el caudal de agua total para la planta se realizó con base al valor máximo de agua suministrada por la empresa de Acueducto de Bogotá.

2.2 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACTUAL

La planta de tratamiento de Azulk S.A. fue diseñada y construida por la empresa CHEMSAR LTDA en el año 1998 para un periodo de 10 años, actualmente cuenta con un plan de tratamiento para las aguas residuales industriales generadas en las diferentes etapas de su proceso de producción, dichos procesos fueron diseñados para garantizar la remoción de cargas contaminantes como se estipula en la **Tabla 8**

Tabla 8. Porcentajes de remoción de diseño de la PTAR.

PARÁMETRO	% DE REMOCIÓN
DBO ₅	80%
DQO	80%
SST	80%
Grasas y Aceites	90%

Fuente: elaboración propia

La calidad del vertimiento final puede variar con respecto a las características anteriormente mencionadas, esto teniendo en cuenta que la empresa ha incrementado su producción, y se han venido añadiendo nuevas líneas de productos. El personal a cargo de la PTAR se encuentra conformado por dos (2) operarios laborando en turnos rotativos de ocho (8) horas, el primero de 6:00 am a 2:00pm y el segundo de 2:00pm a 10:00 pm. La PTAR cuenta con una capacidad de caudal de tratamiento de 2,5 m³/h.

A continuación se describen los pasos establecidos en el tratamiento:

2.2.1 Recepción y Homogenización. La primera fase del tratamiento está conformada por trampas de grasas, un cribado y homogenización. Las aguas residuales industriales de la planta son transportadas por una red hidráulica interna, para ser conducidas hacia el pozo de captación. Adicionalmente se cuenta con dos (2) trampas de grasas estratégicamente ubicadas, que tienen como objetivo separar y remover las grasas y aceites presentes en las aguas, por medio del retiro periódico del material flotante.

Después de que el agua residual llega al pozo de captación, es enviada por medio de bombas al tanque de homogenización, con el fin de tener una buena equalización del fluido y la oxidación de materia orgánica y sulfitos mediante aireación que es suministrada por difusores circulares.

2.2.1.1 Trampa de grasas. La unidad existente en la PTAR fue diseñada para lograr la remoción del 50 al 70 % de las grasas no emulsionadas presentes en las

aguas residuales, según el manual de operación se debe realizar limpieza y mantenimiento cada tercer día.

Tabla 9. Descripción de la trampa de grasas de la PTAR.

Trampa de grasas PTAR	Especificaciones		
		Panel A: Largo 1,16 m Ancho 0,40m Profundidad 2,16m	Panel B Largo 1,16 m Ancho 1,06m Profundidad 2,16m
Distancia entre baffles: 1,06m Distancia de baffle de entrada a pared: 0,40m Distancia de baffle de salida a pared: 0,70 Tiempo de retención: 2,45 h Caudal de salida: 1,09 m ³ /h Volumen efectivo: 2,66m ³ % de remoción: del 50 al 70%			

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la caracterización realizada, se pudo determinar que el porcentaje de remoción de la trampa ubicada en la PTAR es de 58,1%, porcentaje que se encuentra dentro del rango de diseño.

Tabla 10. Resultados de la caracterización sobre la trampa de grasas.

Trampa PTAR	Afluyente mg/L	Efluyente mg/L	Temperatura °C	Tiempo de retención	% Remoción
	330	138,27	22	2.5 horas	58,1

Fuente: elaboración propia

Como se mencionó anteriormente el porcentaje de remoción de esta trampa de grasas se encuentra operando en el rango para el que fue diseñado, es decir, su funcionamiento es adecuado y se encuentra ajustado a las condiciones de diseño iniciales, además que su tiempo de retención es suficiente y adecuado según la literatura.

2.2.1.2 Pozo de Captación. Este pozo con una capacidad instalada de 5.4m³ a donde llegan todas las corrientes provenientes del proceso productivo, cuenta con dos (2) rejillas de cribado que están fijadas a una placa de concreto y dos bombas sumergibles que son controladas de forma automática con ayuda de sensores de nivel.

Tabla 11. Descripción del pozo de captación de la PTAR.

Pozo de Captación PTAR	Especificaciones
	Capacidad 5m ³ Ancho 0.60m Largo 2m Profundidad 2.80m Tiempo de retención 2.5h Caudal 2.3 m ³ /h

Fuente: elaboración propia

Según la caracterización realizada sobre este sitio se pudo determinar que el flujo no es constante, esto debido a que los vertimientos vienen de todas las áreas de proceso y se deben tener en cuenta los diferentes tiempos de operación de cada equipo y sus lavados. Su mantenimiento y limpieza se realiza de forma manual y no son periódicas, por lo cual se presenta acumulación y paso de sólidos a las demás unidades.

Tabla 12. Resultados de la caracterización en el pozo de captación.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	Unidades	6,8
Temperatura	°C	19,5
Caudal promedio	m ³ /h	1,8
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	160
Sólidos sedimentables (SS)	mg/L	10
DBO	mg/L	5236
DQO	mg/L	4378
Grasas y Aceites	mg/L	385
Fenoles	mg/L	2,3

Fuente: elaboración propia

De los resultados obtenidos en el pozo de captación se pueden realizar diferentes comentarios:

- Se pudo determinar cómo flujo promedio 1,8m³/h para esta unidad teniendo en cuenta que se presentan variaciones dependiendo el día de producción, la variación de dicho promedio es de $\pm 0,5 \text{ m}^3$
- A esta unidad llegan aguas con presencia de contaminantes de tipo orgánico como las grasas, glicerina, jabones, entre otros que han sido disueltos y a su vez contaminantes de tipo inorgánico.
- La tendencia del valor de pH en el pozo se debe a la naturaleza del vertimiento de jabones, ácidos grasos y glicerol, puesto que se encuentran presentes

partículas hidrofílicas, principalmente provenientes de la recuperación de aguas glicerinosas y el arrastre de residuos de soda en los lavados de quipos y a la salida de las pailas de cocción.

- El alto valor de compuestos fenólicos proviene de los reboces y lavados que se realizan en el área de glicerina, adicionalmente hay compuestos activos del producto final que se degradan en cloro fenoles.
- El valor para grasas y aceites en el pozo es bastante considerable y se presume que tiene que ver con el mal funcionamiento de las trampas.

2.2.1.3 Tanque Homogenizador. Este fue construido en hierro al carbón, tiene forma cilíndrica y cuenta con dos (2) boquillas de inspección para asegurar la supervisión de su operación y limpieza, una en la parte superior y la otra en la parte lateral.

Tabla 13. Especificaciones del tanque homogenizador de la PTAR.

HOMOGENIZADOR	Especificaciones
	<p>Caudal 2,5 m³/h Tiempo de retención 18h Altura 4.65m Diámetro 3.5m Capacidad 22m³ Material hierro al carbón</p>

Fuente: elaboración propia

A este tanque llegan las aguas crudas impulsadas por las bombas sumergibles del pozo de captación, el tanque cuenta con un sensor de nivel para su control, se utiliza como método la homogenización en línea, que consiste en pasar la totalidad de las aguas a un tanque, pero esto no se hace suficiente para el proceso teniendo en cuenta las condiciones del agua.

Tabla 14. Resultados de la caracterización en el tanque homogenizador.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	Unidades	6,4
Temperatura	°C	21,3
Caudal	m ³ /h	1,8
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	149
Sólidos sedimentables (SS)	mg/L	8,2
DBO	mg/L	5118
DQO	mg/L	3987
Grasas y Aceites	mg/L	376
Fenoles	mg/L	2,1

Fuente: elaboración propia

El agua residual caracterizada de esta unidad presenta una concentración de materia orgánica alta teniendo en cuenta los valores obtenidos de los parámetros DBO y DQO, esto puede deberse a las descargas que se realizan en el área de glicerina, reboces en destilación, regueros de silicato, lavados en la zona de recepción, purgas en los silos de almacenamiento de materias primas y las modificaciones en las líneas de vacío I y II para cambiar de producto.

2.2.2 Tratamiento Primario. Una vez el agua es homogeneizada ingresa al sistema de tratamiento primario, con un tratamiento físico-químico de coagulación/floculación que se realizan en línea, previa alcalinización, este proceso está controlado por un sistema automático de pH en línea. La coagulación se realiza mediante la adición de un coagulante y posteriormente se adiciona un polímero que actúa como floculante.

Para la separación de las partículas desestabilizadas, se cuenta con una unidad de filtración por aire disuelto (DAF), el agua entra a la unidad de flotación, donde los sólidos flotan por la acción de microburbujas de aire generadas por la sobresaturación con aire de una parte de agua que ya ha sido clarificada.

Los sólidos flotantes se retiran por medio de un sistema mecánico, mientras que el agua clarificada sale por un vertedero desde el cual se mide el caudal de operación para su control, luego se somete a un proceso de neutralización por medio de una bomba automática que es controlada por un sistema de pH en línea.

2.2.2.1 Coagulación. Este proceso tiene como objetivo dispersar el coagulante de forma uniforme en el agua proveniente del tratamiento anterior. Por medio de una bomba se agrega soda (NaOH) con el fin de mantener estable el pH en un valor entre 7 y 8 para que finalmente por medio de otra bomba dosificadora se agregue el sulfato de aluminio [Al₂(SO₄)₃] actuando como coagulante inorgánico.

2.2.2.2 Floculación. En este proceso las moléculas entran en contacto haciendo que se agranden los flocs para de esa forma facilitar el proceso de precipitación. El proceso es llevado a cabo en un tanque que tiene un agitador mecánico, el floculante es dosificado de forma manual, por lo cual no se hace de forma controlada y se presenta variabilidad en las cantidades durante cada proceso.

Tabla 15. Descripción del sistema de coagulación y floculación de la PTAR.

COAGULACIÓN / FLOCULACIÓN	Especificaciones coagulación
	Caudal 1m ³ /h Volumen 3m ³ Tiempo de retención 37.23s
	Especificaciones floculación Caudal Volumen 3m ³ Tiempo de retención 50.31min Velocidad de agitación 3RPM

Fuente: elaboración propia

En el tanque de floculación se busca remover las grasas y aceites libres, los sólidos totales y suspendidos en un porcentaje de 20 al 30%, para DQO del 30 al 40% y para la DBO del 40 al 50%. De igual forma son procesos en los cuales se busca mantener estable el valor del pH para conducir el agua al siguiente proceso.

Una vez se ha precipitado el lodo en el fondo del tanque floculador se lleva al filtro prensa con el fin de deshidratarlo.

Tabla 16. Resultados de la caracterización en el tanque de floculación.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	Unidades	7,3
Temperatura	°C	22,9
Caudal	m ³ /h	0,8
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	127
Sólidos sedimentables (SS)	mg/L	7,3
DBO	mg/L	3174
DQO	mg/L	2912
Grasas y Aceites	mg/L	348
Fenoles	mg/L	1,3

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos en esta parte del proceso se puede observar que hay una disminución del 44% del caudal de tratamiento, respecto del caudal de

entrada, adicionalmente se pudo apreciar que la dosificación del polímero que ayuda a la formación del floc se realiza manualmente por parte del operario y no se tiene en cuenta una cantidad específica, se hace con ayuda de una inspección visual para verificar el funcionamiento

2.2.2.3 Clarificación. Se lleva a cabo en un tanque rectangular que se encuentra ubicado en el segundo nivel de la PTAR, el tratamiento no se hace de forma cómoda teniendo en cuenta que el tanque está obstruido por otras unidades del sistema, por lo cual se dificulta la eliminación total de los flocs provenientes del proceso de floculación.

Tabla 17. Descripción del tanque clarificador de la PTAR.

CLARIFICADOR	ESPECIFICACIONES
	<p>Volumen 10m³ Material hierro al carbón Tiempo de retención 4h 48min Caudal 1.3 m³/h</p>

Fuente: elaboración propia

En este tanque se busca que el agua permanezca en reposo por aproximadamente cinco (5) horas, buscando que se depositen en el fondo los sólidos que contengan mayor peso específico para conducirlos al filtro prensa y el agua clarificada conducirla al tanque de tratamiento biológico.

Tabla 18. Resultados de la caracterización en el tanque clarificador.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	Unidades	7,01
Temperatura	°C	23,21
Caudal	m ³ /h	1,3
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	116
Sólidos sedimentables (SS)	mg/L	5,23
DBO	mg/L	2221
DQO	mg/L	2036
Grasas y Aceites	mg/L	291
Fenoles	mg/L	0,56

Fuente: elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la caracterización se puede apreciar que hay una remoción de menos del 15% para los parámetros de sólidos, grasas y aceites,

DBO y DQO, esto podría explicarse por las condiciones de diseño del tanque clarificador, teniendo en cuenta que según la literatura y las grandes PTAR, esta parte del tratamiento se lleva a cabo en tanques con forma cilíndrica y que tienen un sistema de barrido, adicionalmente se tiene un fondo plano que dificulta la sedimentación y extracción de los lodos, por lo cual al tratamiento biológico se está conduciendo agua con exceso de sobrenadantes.

2.2.3 Tratamiento Secundario. Una vez el agua es neutralizada ingresa a un tratamiento secundario, éste es realizado en un Reactor Biológico Aerobio que cuenta con un sistema de aireación por difusión, así se garantiza el oxígeno requerido por la bacterias.

Después de tratar el agua en el reactor, es conducida al clarificador secundario, el cual tiene una tolva en forma de tronco piramidal invertido, donde se encuentra instalada la bomba que hace recirculación de los lodos hacia el reactor nuevamente.

2.2.3.1 Lodos Activados o Tratamiento biológico. Este proceso tiene como finalidad remover la materia orgánica que es soluble a material insoluble. Se alimenta con el agua proveniente del tanque clarificador, en el agua el principal componente son lodos activados aerobios en los cuales se presentan colonias de microorganismos que se alimentan de Nitrógeno y Fósforo, la aireación se lleva a cabo por medio de bombas que están controladas automáticamente para encenderse durante 15 segundos y mantenerse apagadas durante 2 minutos y 30 segundos, esto con el fin de generar un ambiente de crecimiento propicio para los microorganismos.

Tabla 19. Resultados de la caracterización en el reactor biológico.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	Unidades	7,5
Temperatura	°C	23,4
Caudal	m ³ /h	0,96
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	56
Sólidos sedimentables (SS)	mg/L	3,7
DBO	mg/L	157
DQO	mg/L	378
Grasas y Aceites	mg/L	276
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	3,3

Fuente: elaboración propia

Por medio de estos resultados se puede asumir que esta unidad está funcionando en buenas condiciones dado que la reducción de la concentración de la materia orgánica es de más del 90%, valor que es muy considerable y permite obtener un efluente que cumple con las condiciones requeridas por los entes de control, esto

teniendo en cuenta que a esta unidad ya se le realizó una evaluación anterior y sus condiciones de operación ya fueron previamente establecidas y se encuentran designadas en la **Tabla 20** de la siguiente manera

Tabla 20. Condiciones de operación del reactor biológico.

Edad de lodos	$\Theta_c = 1,5$ días	Relación alimento/masa	$0,96 \frac{g\ DBO}{g\ SSVLM}$
Sólidos necesarios	Kg SSLM= 31,53	Oxígeno requerido	$16,43 \frac{Kg\ O_2}{día}$
Volumen de lodos	$Q_w = 6,6\ m^3/día$	Caudal de aire	$Q_{aire} = 6243 \frac{m^3}{h}$
Producción de lodo	Lodo seco = 40 Kg/día	Índice volumétrico de lodos (IVL)	$156,80 \frac{ml}{g}$
Carga orgánica volumétrica	$COV = 2631,81\ gDBO/m^3d$	Tiempo de aireación	$\Theta = 2.8 \frac{h}{día}$
Tiempo de retención	$\Theta = 17,76\ h$		

Fuente: elaboración propia

2.2.4 Tratamiento Terciario. El efluente proveniente del clarificador secundario es conducido a un sistema de filtración de 3 filtros con lechos de arena, grava, antracita y carbón activado; cuyo objetivo es retirar una parte de los sólidos suspendidos y materia orgánica que pueda contener. El efluente de las unidades de adsorción llega al tanque de efluente final, para oxidación y desinfección mediante la adición de un oxidante, antes del vertimiento al sistema de alcantarillado distrital.

2.2.4.1 Filtros. Este sistema cuenta con tres (3) unidades instaladas en serie, su limpieza se lleva a cabo por la parte inferior con ayuda de válvulas que permiten introducir agua limpia de forma ascendente en la unidad hasta alcanzar un reboce, así se desprenden las partículas suspendidas adheridas en el lecho.

Tabla 21. Descripción del sistema de filtración en la PTAR.

FILTROS	ESPECIFICACIONES
	Material acero al carbón Caudal 1m ³ /h Velocidad de filtración 0.19m ³ /m ² -h Volumen 0.7m ³ Altura 1.85m Diámetro 0.6m Forma cilíndrica Arena: diámetro de partícula 1.5 – 2mm Carbón activado: Diámetro de partícula 2 – 3mm Diámetro de poro 0.9mm

Fuente: elaboración propia

El primer filtro está compuesto de un lecho de arena blanca mientras que el segundo tiene un lecho de carbón activado, como se ha mencionado el objetivo principal es remover sólidos suspendidos que no fueron retenidos y remover los fenoles presentes en el agua.

Tabla 22. Resultados de la caracterización en los filtros.

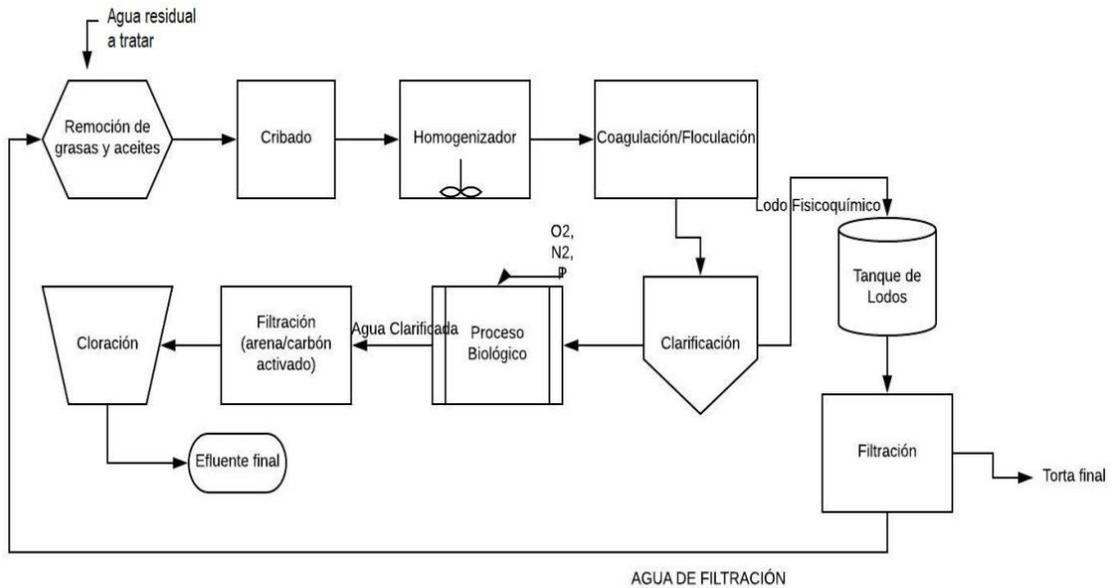
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	Unidades	7,4
Temperatura	°C	19,5
Caudal	m ³ /h	1,0
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	24
Sólidos sedimentables (SS)	mg/L	2,2
DBO	mg/L	138
DQO	mg/L	251
Grasas y Aceites	mg/L	269
Fenoles	mg/L	0,09

Fuente: elaboración propia

De esta unidad se pudo observar que el tiempo de retención con el que cuenta actualmente es de 25 minutos, tiempo que es inferior al aconsejado en la literatura entre 30 y 60 minutos (**Ver Tabla 36**) teniendo en cuenta que son equipos antiguos y que resultan deficientes para remover completamente el material no biodegradable y los sólidos presentes.

A continuación por medio de la **Figura 3** se presenta el diagrama de procesos correspondiente a la operación realizada por la PTAR de la empresa AZULK S.A.

Figura 3. Diagrama de procesos de la PTAR.



Fuente: elaboración propia

2.2.5 Deshidratación de lodos. Se realiza a los lodos que se obtienen de la unidad de flotación por aire disuelto (DAF), que tienen un alto porcentaje de humedad (92 al 97%), por lo cual se realiza una deshidratación de forma mecánica por medio de un filtro prensa de placas. El lodo generado en forma de torta se dispone como residuo sólido y el exceso de humedad se retorna al proceso de tratamiento.

2.2.5.1 Filtro prensa. En esta unidad se lleva a cabo la deshidratación de los lodos, el proceso se realiza de forma manual en un diafragma que opera entre 20 y 100 psi.

Tabla 23. Descripción del filtro prensa de la PTAR

FILTRO PRENSA	Especificaciones
	Presión de filtrado entre 20 y 100 psi Tiempo de filtrado 1 hora Contenido de humedad 3% Espesor de la torta 3cm Operación manual

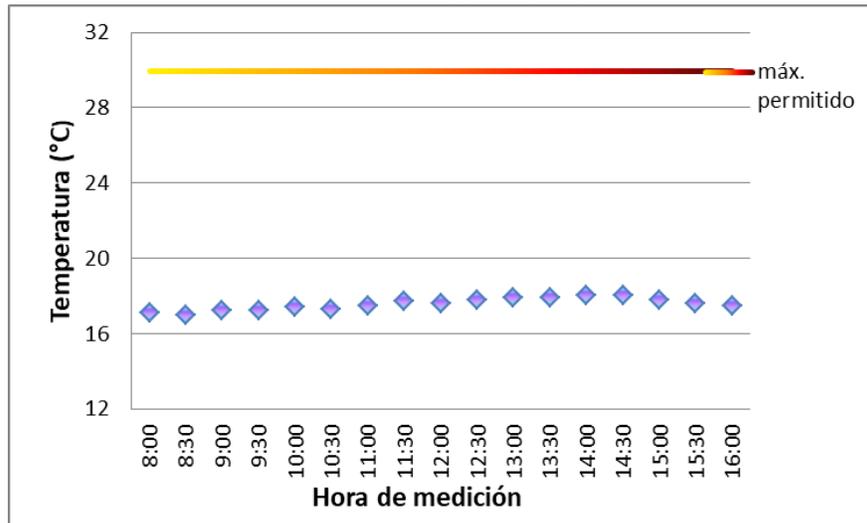
Fuente: elaboración propia

El filtro se encuentra conformado por 30 marcos, cada uno tiene 1.20m de alto y 1.1m de ancho, para un total de área de filtración de 1.32m², los marcos mencionados generan un total de 4 toneladas de lodo deshidratado al mes, que se recogen en canecas para su correcta disposición final con los encargados.

2.2.6 Comportamiento del pH, temperatura y caudal promedio. En el mes de junio del año en curso, se realizó la caracterización del agua residual, haciendo la medición de estos parámetros, en una jornada de 8 horas, tomando datos cada 30 minutos.

2.2.6.1 Temperatura. Para realizar la medición de este parámetro se realizó la lectura por medio de un termómetro de mercurio directamente al recipiente de recolección de la muestra

Gráfica 3. Registro promedio de la temperatura a la salida de la PTAR de AzulKS.A.

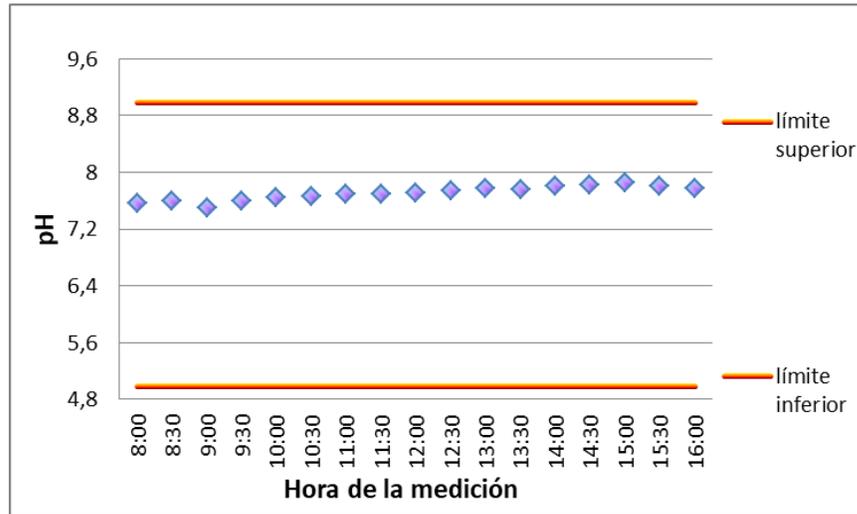


Fuente: elaboración propia

Como se puede observar por medio de la **Gráfica 3**, la temperatura registra un comportamiento estable a la salida del tratamiento, ya que alcanza un mínimo de 17°C y un máximo de 18°C. Las temperaturas más bajas se registran en horas de la mañana, mientras que las más altas se aprecian en las horas de la tarde.

2.2.6.2 pH. Este parámetro se registró realizando la lectura directa del sistema automatizado con el que cuenta la planta. Su comportamiento se proyecta por medio de la **Gráfica 4**.

Gráfica 4. Registro promedio de pH a la salida de la PTAR en AzulK S.A.

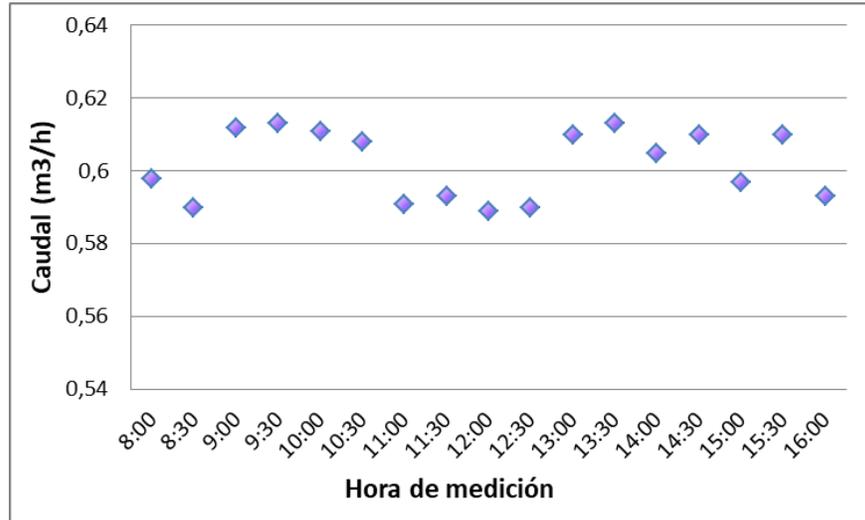


Fuente: elaboración propia

El pH del agua residual de AZULK S.A. se mantiene estable, como lo indican los valores obtenidos, se aprecia como valor mínimo 7,57 unidades y como valor máximo 7,85 unidades. Adicionalmente se puede apreciar que los datos registrados se encuentran dentro del margen estipulado por la norma ambiental.

2.2.6.3 Caudal. La medición de este parámetro se realizó teniendo en cuenta la técnica de análisis volumétrica, para un día de operación en una jornada de 8 horas.

Gráfica 5. Registro promedio de caudal a la salida de la PTAR en AzulK S.A.



Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar que el comportamiento del caudal es estable teniendo en cuenta que presenta un valor mínimo de $0,589 \text{ m}^3/\text{h}$ y un valor máximo de $0,613 \text{ m}^3/\text{h}$ a la salida de la PTAR, lo que según el balance hídrico realizado anteriormente nos confirma que se entregan aproximadamente 12 m^3 de agua residual tratada al sistema de alcantarillado de la ciudad.

2.3 CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE

Luego de realizar la descripción de la información del funcionamiento de la PTAR, el proceso productivo de AzulK S.A y el balance hídrico pertinente, fue necesario conocer las características químicas y físicas tanto del agua cruda como del agua tratada, así mismo evaluar cada una de las unidades de tratamiento, esto se hace con el fin de determinar si el agua vertida al alcantarillado distrital cumple con la normatividad ambiental vigente o no. Para tal fin el procedimiento realizado fue el siguiente:

2.3.1 Método de muestreo. Se llevó a cabo un muestreo compuesto en cada unidad de tratamiento y el efluente final con el objetivo de determinar la eficiencia del sistema, éste se llevó a cabo recogiendo muestras individuales en el mismo punto pero distinto tiempo para al final combinarlas, las tomas se realizaron en una jornada de 8 horas cada 30 minutos. Los resultados de esta jornada fueron analizados en el laboratorio de AzulK S.A. y el laboratorio externo ANALQUIM.

Los resultados a la entrada y salida de la PTAR se relacionan en la **Tabla 24**, en la misma se realiza el comparativo con los valores exigidos por la normatividad

ambiental vigente y se detalla el cumplimiento o incumplimiento de cada parámetro.

Tabla 24. Resultados de la caracterización comparados con la norma.

Parámetro	Unidad	Entrada PTAR	Salida PTAR	Resolución 0631 de 2015	Cumplimiento
pH	Unidades	6,8	7,6	5,0 a 9,0	Si cumple
Temperatura	°C	19,5	18	<30	Si cumple
Caudal	m ³ /h	2,5	2,21	-----	N.A
Sólidos suspendidos totales	mg/L	160	12	80	Si cumple
Sólidos sedimentables	mg/L	10	2.4	1,0	No cumple
DBO	mg/L	5236	135	250	Si cumple
DQO	mg/L	4378	148	500	Si cumple
Grasas y Aceites	mg/L	410	260	15	No cumple
Fenoles	mg/L	2,3	0,08	<0,2	Si cumple

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla anterior los parámetros evaluados sobre el agua residual a la entrada de la PTAR de la empresa AzulK S.A. se encuentran excediendo los límites exigidos por la resolución 0631, por lo cual las unidades de tratamiento disponibles en la planta deben reducir las concentraciones de cada uno de ellos en porcentajes por encima del 90% para obtener un efluente final que cumpla las condiciones de vertimiento y evitar sanciones a las que haya lugar, pero adicionalmente se puede observar que el sistema no está cumpliendo dicha condición puesto que se presentan los parámetros grasas y aceites y sólidos sedimentables por fuera de norma y otros como la DBO₅ y DQO muy cercanos al límite superior permitido. Razón por la cual se debe proponer una mejora al sistema de tratamiento para hacerlo más eficiente y adecuado.

2.4 ANÁLISIS DE PUNTOS CRÍTICOS.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las diferentes caracterizaciones realizadas se pudo determinar que el parámetro más crítico para realizar el tratamiento en la PTAR son grasas y aceites, esto se debe a la naturaleza de las materias primas utilizadas por AzulK S.A. y sus características. Adicionalmente se pudo determinar que las trampas de grasas no se encuentran funcionando correctamente, según su diseño inicial, puesto que el porcentaje de remoción es menor al 58% y no se realizan los mantenimientos estipulados según el manual de operación de la planta de tratamiento.

Razón por la cual se decidió caracterizar algunos puntos dentro de la compañía con el fin de determinar cuál es el que aporta mayor carga contaminante respecto

al parámetro considerado como crítico, los resultados se relacionan en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Resultados de la medición de grasas y aceites en diferentes puntos de la compañía.

LUGAR	VALOR (G y A)	UNIDADES
Malacate	510,5	mg/L
Pozo de captación	385	mg/L
Trampa de grasas (PTAR)	330	mg/L
Reactor Biológico	276	mg/L
Recepción	20,5	mg/L
Línea glicerina	31	mg/L
Caja área de detergentes	70,5	mg/L
Línea de líquidos	149	mg/L

Fuente: elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en la medición del parámetro de grasas y aceites, se pudo determinar que el lugar dentro de la compañía que presenta la mayor carga contaminante para este parámetro es la zona conocida como "Malacate". Este lugar es un punto de conexión entre la zona de alimentación de las pailas de cocción del jabón y la zona de empaque del producto terminado. El valor obtenido se debe a diferentes explicaciones

- En esta área se presentan diferentes rebocos provenientes de la zona de alimentación de las pailas de cocción, a las cuales llega la materia prima utilizada para la fabricación de los diferentes tipos de jabones que son comercializados por la empresa, que son sebos animales y grasas vegetales
- La zona más cercana es la línea de vacío I y II, en la cual las bombas encargadas de generar dicho vacío son unidades obsoletas que presentan derrame de aceite hidráulico que llega a las rejillas y es conducido a la caja en la cual se tomó la muestra.

2.5 ANÁLISIS DEL DIAGNÓSTICO

Por medio del diagnóstico realizado a la planta de tratamiento de AZULK S.A., se pudo determinar que la misma presenta una serie de fallas que se clasifican en tipo operacional, de mantenimiento y técnico, por lo cual como se había mencionado anteriormente se hace necesario establecer una serie de mejoras con el fin de obtener un efluente de calidad y una PTAR en óptimas condiciones de funcionamiento.

2.5.1 Fallas operacionales. Teniendo en cuenta que son aquellos errores que consisten en una manipulación inapropiada por parte del operario encargado.

Se pudo apreciar que en el tanque de floculación, el polímero encargado de formar el floc para llevar a cabo la separación correspondiente es agregado de forma manual, sin una dosificación estipulada, el operario lo agrega a consideración personal, por lo cual se supone una falla teniendo en cuenta que se puede presentar deficiencia del polímero o mal gasto del mismo.

Como evidencia de esto, se pudo determinar que la etapa de tratamiento no está cumpliendo con el porcentaje de remoción para el cual fue diseñado, los datos analizados se relacionan en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Comparativo de porcentajes de remoción en el tratamiento de floculación.

Parámetro	% remoción de diseño	% remoción real
Grasas y Aceites	-----	7,45
DQO	30 - 40	26,96
DBO	40 - 50	37,98
Sólidos suspendidos totales	20 - 30	14,77

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar los porcentajes de remoción reales del tratamiento de floculación se encuentran por debajo de los porcentajes de diseño, por esta razón se hace necesario realizar el ajuste de las condiciones de operación para hacerlo de forma eficiente.

2.5.2 Fallas de mantenimiento. Entendiendo estas como las faltas de mantenimiento propias sobre los equipos disponibles, teniendo en cuenta las consideraciones iniciales para las que fueron fabricados.

A lo largo del sistema de tratamiento se evidenciaron diferentes fallas de mantenimiento teniendo en cuenta que no se están realizando de la forma requerida por los equipos. Las fallas están presentes en el pozo de captación, ya que teniendo en cuenta que opera con un flujo variable debido a los diferentes horarios de las áreas de producción, su falta de aseo y mantenimiento evidencian que se presenta acumulación de residuos y el paso de sólidos a las siguientes etapas y en la trampa de grasas, ya que se supone que el mantenimiento debe realizarse cada tercer día pero esto no se cumple.

2.5.3 Fallas técnicas. Estas han sido consideradas como aquellas fallas provocadas por malos diseños sobre el sistema, bien sea por antigüedad o por mal funcionamiento de cualquier equipo.

Principalmente se considera una falla que la planta de tratamiento actual fue diseñada hace 20 años, es decir, para agua residual con diferentes condiciones a la actual, adicionalmente se encuentran fallas en el tanque clarificador dado que no tiene las especificaciones técnicas que son requeridas para esta etapa del tratamiento según la literatura²⁶ y en los sistemas de filtración ya que las condiciones de operación y diseño de los mismos no cumplen con las recomendadas²⁷ y se pudo apreciar que su funcionamiento ya no es tan eficiente, dado que el porcentaje de remoción de agentes contaminantes no supera el 15%..

Por otra parte debido a que se realizó un análisis de las zonas que mayor carga contaminante de grasas y aceites aportaba al agua residual conducida hacia la PTAR, y teniendo en cuenta que para la zona conocida como malacate el valor es de 510,5 mg/L se considera esto una falla técnica y se tendrá en cuenta para la presentación de las mejoras pertinentes.

²⁶ En la cual se determinan los factores que afectan la operación del sistema clarificador, especificando como diseño más efectivo el circular con alimentación central por *Rojas Romero. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principio de diseño*

²⁷ Ver

Tabla 36. Parámetros de diseño para filtros.

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA

Por medio del siguiente capítulo se realiza el planteamiento de las alternativas de mejora para el sistema de tratamiento de AZULK S.A., para ello se tendrán en cuenta diferentes factores con el fin de hacer viable la ejecución en la compañía y llevar a cabo la experimentación de la misma, para así demostrar el cumplimiento de los parámetros que se encuentran fuera de la norma según el diagnóstico desarrollado en el capítulo anterior.

3.1 PLANTEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA

Con el fin de presentar la alternativa de mejora más conveniente para la planta de tratamiento de aguas residuales en AZULK S.A. se deben tener en cuenta las condiciones y características operativas del sistema de tratamiento actual y del agua residual que ingresa a la planta, por lo cual se consideran aquellos parámetros que se encuentran fuera de los límites normativos establecidos por la normatividad ambiental vigente, la Resolución 0631 de 2015.

3.1.1 Parámetros representativos a tener en cuenta. Para presentar la alternativa de mejora más adecuada se tendrán en cuenta aquellos parámetros que presentaron niveles por fuera de la norma que son:

- Grasas y aceites
- Sólidos sedimentables

Adicionalmente se tendrán en cuenta los altos niveles de DBO y DQO que se presentaron en las diferentes caracterizaciones realizadas, debido a que por la naturaleza de los agentes de limpieza se pueden presentar variaciones difíciles de controlar.

3.1.2 Propuestas de mejora. Según teoría previamente consultada, con el fin de disminuir los parámetros anteriormente mencionados y mejorar el sistema de tratamiento actual de la compañía se proponen las siguientes alternativas a las fallas ya descritas en el **capítulo 2**

- **Trampa de grasas “Malacate”:** se propone la instalación de una nueva trampa de grasas en la zona conocida como malacate, dado que según el diagnóstico realizado, esta es la zona en la que se encontró el mayor contenido de grasas y aceites con un valor de 510.5 mg/L, y así conseguir por medio de un pre-tratamiento en esta zona la disminución del parámetro en el efluente final.
- **Ajuste de dosificación de reactivos:** teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el diagnóstico realizado sobre la planta, se hace necesario realizar la evaluación de la dosificación y tipo de coagulante y floculante, con lo que se

busca mejorar todo el proceso de clarificación del agua que tiene como objetivo retirar los sólidos suspendidos y transformar las partículas coloidales²⁸ para retirarlas con mayor facilidad.

- **Filtros de arena y carbón activado.** se propone realizar una evaluación sobre el sistema de filtración, principalmente el lecho filtrante (arena) ya que se pudo observar que las condiciones de operación no son apropiadas, no cumplen algunos de los parámetros de diseño recomendados en la literatura y no se está realizando un tratamiento eficiente en estas unidades, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el diagnóstico, dado que se remueve menos del 15% de carga contaminante al pasar el agua residual por las unidades aquí mencionadas.
- **Tanque clarificador.** se propone un cambio de geometría para este tanque con el fin de obtener un tratamiento más eficiente, dado que el actual tiene fondo plano, lo que dificulta la sedimentación de los lodos, a uno con fondo cónico y cuyo sistema de alimentación se encuentre en el centro y no lateral, esto ayudaría a formar un patrón de flujo uniforme y la correcta precipitación de los sólidos sedimentables para evitar que pasen a las demás unidades de tratamiento, esto teniendo en cuenta las recomendaciones de diseño expuestas por Rojas Romero en su libro Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principio de diseño.

3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Con el fin de realizar la evaluación de las mejoras propuestas para el sistema de tratamiento actual de AzulK S.A., se deben tener en cuenta las especificaciones de las condiciones de operación, los valores de las variables propias a analizar, los tipos de reactivos que se utilizarán y sus respectivas dosificaciones, por lo cual se relaciona el procedimiento seguido.

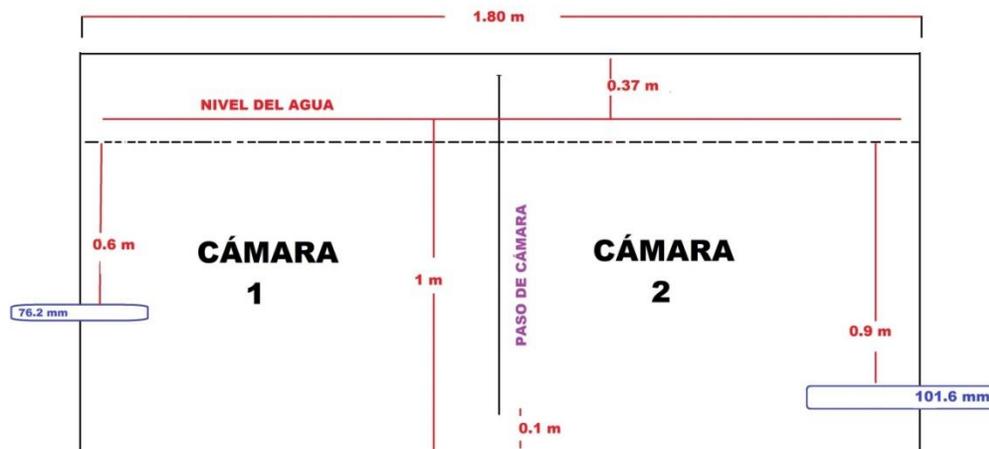
Como primera medida se tomó una muestra de 10 litros de agua residual de las canaletas ubicadas alrededor de la zona conocida como “malacate” dado que según el diagnóstico realizado es la zona con mayor carga contaminante en el parámetro establecido como el más crítico, es decir, grasas y aceites. Posteriormente el agua fue utilizada para el diseño de la trampa de grasa tal y como se explica en el siguiente numeral, luego de retirar la capa de grasa en un 80% el agua fue utilizada para realizar las pruebas de modificación de dosificación de reactivos propios del tratamiento físico-químico evaluando el proceso de neutralización, por medio de la curva de neutralización, coagulación y floculación por medio de las pruebas de jarras.

²⁸ COGOLLO FLÓREZ, J. M. (s.f.). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. Bogotá : Vol 78. No 165.

Finalmente fue necesario evaluar el lecho de filtración utilizado, puesto que según los parámetros de diseño previamente consultados (**Ver Tabla 36**) no se cumplían las condiciones en su totalidad.

3.2.1 Diseño trampa de grasas “Malacate”. Como se especificó anteriormente se propone la instalación de una trampa de grasas en el punto conocido como malacate teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el diagnóstico (**ver Tabla 25**). Para lo cual se desarrolló el siguiente diseño:

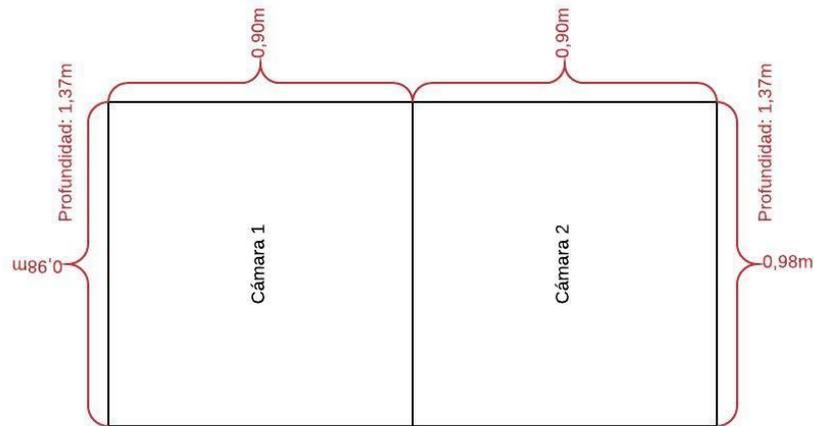
Figura 4. Vista frontal diseño trampa de grasas



Fuente: elaboración propia

- Una unidad conformada por dos cámaras contiguas de flujo por gravedad, donde el agua ingrese por una tubería de 3 pulgadas proveniente de la línea de vacío sumergida como mínimo 0,2 m y una descarga a través de una tubería de arcilla vitrificada de mínimo 4 pulgadas, situada a 0,2 m del fondo del tanque. Y con una sumergencia de por lo menos 0,9 m. El paso entre cámaras se debe hacer a una altura máxima de 0,1 m, lo que permitiría la retención en la primera de las cámaras de la mayor cantidad de grasas no emulsionadas y de otros materiales flotantes asociados a las aguas residuales de la industria.
- Por medio del **ANEXO E**, se precisa la ubicación de la nueva unidad y su distanciamiento respecto a la planta de tratamiento de aguas residuales

Figura 5. Medidas trampa de grasas malacate, vista superior.



Fuente: elaboración propia

- Como medidas propuestas para la cámara 1 y 2 se tiene 0,98m x 0,90m x 1,37m tal como se muestra en la **Figura 5**

Tabla 27. Unidades de gasto para cálculo de caudal.

Área	Unidad de gasto
Línea de vacío I, II y III	3
Blanqueo	1
Lavado de traperos	1
TOTAL	5

Fuente: elaboración propia

- La determinación del caudal de diseño se ejecuta a partir de las unidades de gasto según lo indicado en la **Tabla 27**, que descargarán a la trampa de grasa²⁹, mediante la **Ecuación 6** expresada a continuación

Ecuación 6. Cálculo de caudal máximo de diseño para trampa de grasa.

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum p}$$

Dónde:

Q = Caudal máximo (L/seg)

$\sum p$ = Suma de todas las unidades de gasto que descargarán en la trampa

²⁹ RODIE, E. y. (1987). Ingeniería Sanitaria. México: Continental S.A. Páginas 73-79

$$Q = 0.3 \sqrt{5} = 0.67 * \frac{60 \text{seg}}{1 \text{min}} = 40.25 \text{ L/min}$$

Según el cálculo realizado se obtiene un caudal de diseño promedio operando de domingo a domingo todos los días del mes, de 40.25 L/min

- La carga hidráulica superficial, corresponde al volumen de agua residual a tratar en un determinado tiempo por metro cuadrado de superficie de las trampas de grasas. Con las dimensiones de las cámaras y el caudal de operación que maneja el sistema, se obtiene la carga superficial hidráulica utilizando la **Ecuación 7**³⁰ expresada a continuación.

Ecuación 7. Cálculo de carga hidráulica superficial.

$$CHS = \frac{C_D * F_T}{A_{TG}}$$

Dónde:

CHS = Carga hidráulica superficial

C_D = Caudal de diseño (m³/día)

F_T = Factor de conversión

A_{TG} = Área superficial de las trampas de grasa

$$CHS = \frac{40.25 \frac{L}{min} * (\frac{1m^3}{1000L} * \frac{60min}{1h} * \frac{24h}{1día})}{[0.98m * 0.9m * (2)]m^2} = 32,9 \frac{m^3}{día/m^2}$$

El valor obtenido de la carga hidráulica superficial se encuentra conforme a los criterios técnicos establecidos en el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000, título E, Tratamiento de aguas residuales, en el cual se recomienda un área superficial de 0,25 m² por cada litro por segundo de caudal³¹, para este caso en particular se propone una unidad con una relación de área donde existan más de 5,5 m² por 1L/s de caudal, de esta forma se permite cumplir de forma satisfactoria con los requerimientos técnicos.

³⁰ Ecuación tomada del libro Teoría y principio de diseño en el tratamiento de aguas residuales de Rojas Romero.

³¹ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 Sección II Título E. (28 de Julio del 2000), p 28 RAS II. Bogotá. DC.

- Partiendo del caudal de diseño (40,25 L/min) y teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínima para la trampa de grasa debe ser por lo menos una cuarta parte del mismo, se propone como capacidad de almacenamiento mínimo 21 kg de grasa, valor que se ajusta a lo estipulado en el RAS – 2000 entre 14 y 115 kg para este tipo de caudales.

Por medio de una prueba de laboratorio se determinó el tiempo de retención hidráulica requerido para garantizar la separación de la grasa y otros sólidos del agua, recogiendo una muestra de 10 Litros de agua de la zona en estudio, ésta tardó 20 minutos en formar una gruesa capa de grasa y sólidos que posteriormente fue retirada manualmente como se muestra en la **Figura 6** en un 85% para las siguientes pruebas. Según el RAS – 2000, el tiempo mínimo de retención es de 5 minutos por lo cual el tiempo propuesto de diseño es adecuado.

Figura 6. Formación capa de grasa y sólidos.



Fuente: elaboración propia

- Para la entrada de la trampa se recomienda colocar un elemento controlador de flujo como una válvula, con el fin de asegurar la protección contra sobrecargas o alimentaciones repentinas.

Tabla 28.Resumen parámetros de diseño para la trampa de grasas malacate.

Parámetro	Valor
Caudal de diseño	40,25 L/min
Carga hidráulica superficial	$32,9 \frac{m^3}{día/m^2}$
Capacidad de almacenamiento mínimo	21 kg de grasa
Tiempo de retención	Necesario 20 min Óptimo 40 min
Medidas	Largo 0,98 m Ancho 0,90 m Profundidad 1,37 m
Volumen efectivo	$2.42m^3$

Fuente: elaboración propia

Finalmente para favorecer el correcto funcionamiento de la trampa de grasas se recomienda realizar la limpieza de la misma cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención, para evitar el escape de cantidades considerables de grasa y la generación de malos olores

3.2.2 Ajuste de la dosificación de reactivos. Para realizar el ajuste de la dosificación de reactivos en el proceso fisicoquímico se hace necesario evaluar el proceso de neutralización, para lo cual se realizó la curva de neutralización y el proceso de clarificación desarrollando el ensayo de jarras.

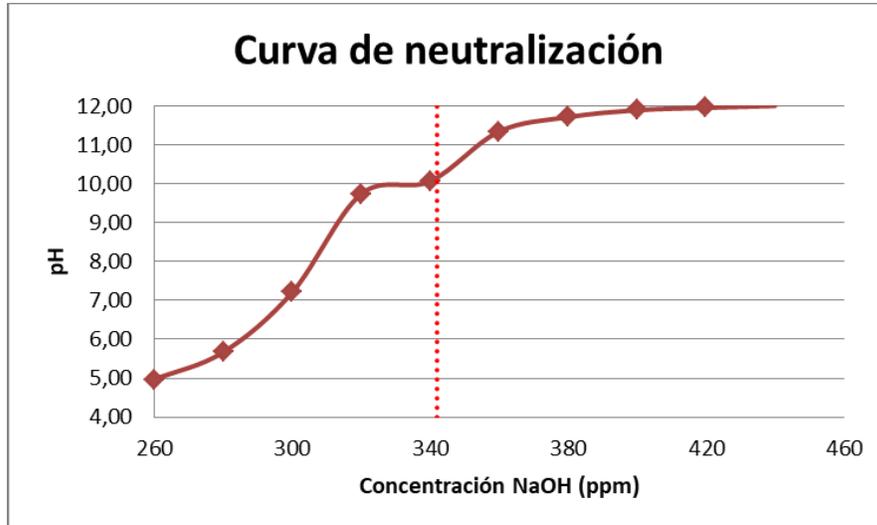
3.2.2.1 Neutralización. Entre las condiciones de operación más relevantes para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, se encuentra la estabilización del pH, dado que el agua residual industrial sale del proceso productivo con niveles de pH ácidos y la mayoría de reactivos de coagulación y floculación trabajan correctamente en unidades de pH básicos.³² Actualmente se realiza la neutralización del agua residual con soda cáustica durante una dosificación constante por medio de una bomba automatizada, empleando aproximadamente 340 ppm de NaOH, lo que se relaciona en la curva de neutralización.

Para la realización de la curva se tomó 1 litro de agua residual cruda donde su pH es de 4,31 unidades y posteriormente se preparó una solución de hidróxido de

³² ANALIZA CALIDAD ASESORES. (2010). Analiza Calidad Asesores. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://www.analizacalidad.com>

sodio al 2% equivalente a 20 000 ppm agregándola lentamente de a 0,5 mL y midiendo el pH en cada adición.

Gráfica 6. Curva de neutralización con adición de NaOH



Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la **Gráfica 6**, luego de realizar el proceso anteriormente indicado, se estableció que la cantidad requerida para neutralizar 1 litro de agua cruda, llevándola a un pH de 10,0 unidades, es de 340 ppm de NaOH.

3.2.2.2 Clarificación. Después de determinar las cantidades requeridas para estabilizar el pH, se llevó a cabo la clarificación que consta de coagulación, floculación y sedimentación, esto se realizó por medio de un test de jarras con el fin de determinar la dosis más efectiva de floculante y coagulante en el desarrollo del tratamiento del agua residual.

3.2.2.3 Descripción de reactivos a usar para clarificar. Los reactivos que se emplearon para la prueba de jarras son los que viene utilizando AzulK suministrados por la empresa Acuacontrol LTDA., esto debido a que por condiciones de operación no se permite el cambio de los reactivos ya que por medio de diferentes proyectos desarrollados anteriormente, se determinó que otros reactivos alteran parámetros como el nivel de cloruros, a continuación se presentan las características de los reactivos.

- **Coagulante:** este tipo de sustancia es un reactivo que en solución aporta al coloide presente en el agua residual una carga eléctrica contraía con el fin de lograr la desestabilización. A continuación se presenta la descripción del coagulante utilizado en la práctica de laboratorio.

Sulfato de aluminio (c-21)	Es un reactivo de bajo costo lo que genera alta disponibilidad, forma un coagulo blanco y actualmente es el más utilizado en su categoría para el tratamiento de aguas residuales. La empresa no tiene determinada la dosificación requerida para el tratamiento por lo cual los operarios lo adicionan de forma empírica.
--	--

- Floculante: esta sustancia es utilizada para unir las partículas que fueron desestabilizadas y lograr la formación de partículas más grandes aglomeradas que por su propio peso sedimentan. A continuación se presenta la descripción del floculante utilizado en la práctica de laboratorio.

Producto referencia de proveedor (y- 373)	Es un polímero catiónico de alto peso molecular blanco e inodoro que actúa con la adición de bajas concentraciones y a un amplio rango de pH que puede ser utilizado en diferentes tipos de aguas residuales.
---	---

3.2.2.4 Test de jarras. Para realizar el ensayo se realizó una toma de muestra compuesta en la descarga de la línea de vacío ya que esta es el agua que llega a la zona conocida como malacate, completando un volumen de 10 litros en un recipiente de polietileno de alta densidad, con una condición inicial de 4,78 unidades de pH.

En el ensayo de jarras hay diferentes variables que se deben tener en cuenta como el tiempo de agitación, tiempo de sedimentación y la velocidad de agitación, por lo cual se realizó una revisión bibliográfica con el fin de determinar dichas condiciones para la prueba en el laboratorio, obteniendo los valores relacionados en la **Tabla 299**

Tabla 29. Condiciones de operación para el ensayo de jarras.

Parámetro		Valor
Mezcla rápida	Velocidad de agitación	120 rpm
	Tiempo de agitación	5 min
Mezcla lenta	Velocidad de agitación	40 rpm
	Tiempo de agitación	1 min
Sedimentación	Tiempo de sedimentación	5 min

Fuente: BARÓN QUEVEDO, Christian Giovanni. Propuesta de mejoramiento en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales. Bogotá D.C. 2013, pág 65

Después de tener establecidos los valores de los parámetros necesarios para el desarrollo de la prueba de laboratorio, se procedió a retirar la capa de grasas y aceites formadas en la muestra tomada en un 80% simulando la acción a realizar

por la trampa de grasas que se propone instalar en esa zona, posteriormente se neutralizó el agua llevándola a pH de 10 unidades que es el habitual en el tratamiento de la PTAR.

El indicador para determinar la efectividad del floculante y coagulante es conocido como índice de Willcomb, con este se pretende clasificar de forma cuantitativa el floc obtenido, teniendo en cuenta parámetros como su formación, aglomeración y velocidad de sedimentación.

Tabla 30. Clasificación del índice Willcomb.

Número de índice	Descripción
0	No se presenta ningún signo de aglutinamiento, el floc presenta forma coloidal.
2	Floc muy pequeño hasta el punto de ser casi imperceptible.
4	Floc bien formado pero muy disperso por lo cual su sedimentación es muy lenta o nula.
6	Floc bien formado y esponjoso, relativamente grande pero sedimenta lentamente.
8	Floc de buen tamaño que sedimenta rápidamente pero no de forma completa por lo cual se produce turbiedad en el agua.
10	Floc que sedimenta por completo lo que permite obtener agua cristalina

Fuente: GALVIS, Nubia. Ensayos de tratabilidad del agua, una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización. Trabajo de grado maestría en el desarrollo sostenible y medio ambiente. Manizales, Colombia. Universidad de Manizales. Facultad de ciencias contables, económicas y administrativas. 2014.

Para determinar las dosis óptimas de los reactivos, se procedió a realizar los cálculos de la cantidad de coagulante a adicionar con diferentes concentraciones en cada jarra, este procedimiento se realizó teniendo en cuenta la ecuación **Ecuación 8** descrita a continuación

Ecuación 8. Fórmula general para cálculos en disoluciones.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Dónde:

C_1 = Concentración del coagulante

V_1 = Volumen de coagulante a adicionar

C_2 = Concentración de coagulante para cada jarra

V_2 = Volumen de agua en cada jarra

- **Ensayo de jarras 1.** Para este ensayo se utilizó la misma dosis de floculante y por medio de la **Ecuación 8** se varió la concentración de coagulante y el

volumen a adicionar, los resultados obtenidos se pueden apreciar en la **Tabla 31** relacionada a continuación.

Tabla 31. Resultados ensayo 1 de jarras.

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de NaOH (ppm)	100	100	150	150
Dosificación de floculante (ppm)	5	5	5	5
Dosificación de coagulante (ppm)	300	400	500	600
pH	8,42	7,22	8,90	8,31
Índice de Willcomb	0	0	2	4

Fuente: elaboración propia

Por medio del primer ensayo se pudo determinar que la cantidad de coagulante agregada no fue suficiente en ninguna de las jarras debido a que no se obtuvo una sedimentación adecuada ni clarificación representativa del agua cruda como se muestra en la **Figura 7**, por lo cual partiendo de las jarras 3 y 4 se procedió a realizar los cálculos nuevamente aumentando la concentración.

Figura 7. Primer ensayo de jarras.



Fuente: elaboración propia

Como se mencionó anteriormente partiendo de las jarras 3 y 4 que fueron las que presentaron mejor comportamiento, se realizaron los cálculos nuevamente variando la concentración de coagulante y floculante con el fin de obtener mejores resultados en los siguientes ensayos.

- **Ensayo de jarras 2.** Para este ensayo se realizó variación sobre la concentración de coagulante y floculante aumentando la dosis a partir del resultado del primer ensayo. Adicionalmente se requirió adicionar mayor cantidad de soda caustica para neutralizar. En la **Tabla 32** se presentan los resultados obtenidos del ensayo.

Tabla 32. Resultados ensayo 2 de jarras

Parámetro	Jarra 5	Jarra 6	Jarra 7
Dosificación de NaOH (ppm)	250	250	250
Dosificación de floculante (ppm)	6,25	6,25	6,25
Dosificación de coagulante (ppm)	700	800	900
pH	6,40	6,27	6,94
Índice de Willcomb	8	6	4

Fuente: elaboración propia

El comportamiento de las jarras de este ensayo según la tabla anterior y como se puede apreciar en la **Figura 8** arrojó mejores resultados, la jarra 5 fue la que presentó mejor formación de floc y menor tiempo de sedimentación.

Figura 8. Segundo ensayo de jarras.



Fuente: elaboración propia

- **Ensayo de jarras 3.** A partir del resultado de la jarra 5 del ensayo anterior se realizó una nueva prueba variando la dosificación de floculante y coagulante nuevamente con el fin de obtener mejores resultados como se puede apreciar en la **Tabla 33**.

Tabla 33. Resultados ensayo 3 de jarras.

Parámetro	Jarra 8	Jarra 9
Dosificación de NaOH (ppm)	330	330
Dosificación de floculante (ppm)	5	5
Dosificación de coagulante (ppm)	800	1000
pH	7,24	7,48
Índice de Willcomb	10	8

Fuente: elaboración propia

Según los resultados obtenidos en este ensayo se puede observar que la jarra 8 con una concentración de 800 ppm de coagulante, 5 ppm para el floculante Y-373

y 330 ppm de NaOH, tiene un índice de Willcomb de 10 lo que indica la formación del floc que permite que al momento de la sedimentación se obtenga agua clarificada como se puede apreciar en la **Figura 9** y con un valor de pH ajustado a la normatividad.

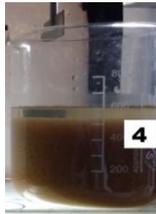
Figura 9. Tercer ensayo de jarras.



Fuente: elaboración propia

Luego de haber llevado a cabo los ensayos de jarras descritos anteriormente, se procede a seleccionar la dosificación más óptima de coagulante para obtener el mejor resultado en el sistema de tratamiento, en la **Tabla 34**, se muestran los datos de mejor desempeño en cada uno de los ensayos realizados con sus correspondientes dosificaciones de reactivos para tener la comparación directa

Tabla 34. Recopilación de los mejores resultados obtenidos en los ensayos de jarras.

Parámetro	Ensayo 1 Jarra 4	Ensayo 2 Jarra 5	Ensayo 3 Jarra 8
Dosificación NaOH (ppm)	150	250	330
Dosificación polímero y-373 (ppm)	5	6,25	5
Dosificación coagulante c-21 (ppm)	600	700	800
pH	8,31	6,40	7,24
Índice de Willcomb	4	8	10
Imagen			

Fuente: elaboración propia

Con base a los resultados obtenidos en las pruebas de jarras realizadas, el sulfato de aluminio C-21, presenta un buen comportamiento como coagulante con una dosificación de 800 ppm, por otro lado el polímero catiónico Y-373 se estimó su dosificación adecuada en 5 ppm y para el hidróxido de sodio en 330 ppm, por lo cual se eligió como dosificación óptima para el proceso.

Posteriormente se procedió a filtrar el agua para retirar el lodo, y fue llevada al laboratorio de AzulK para hacer el análisis respectivo de los parámetros considerados críticos, arrojando los resultados descritos en la **Tabla 35** presentada a continuación.

Tabla 35. Comparación de parámetros críticos con la corrección de dosificación para la clarificación.

Parámetro	Agua cruda (Laboratorio Analquim)	Agua tratada en PTAR (Laboratorio Analquim)	Agua con dosificación corregida (laboratorio AzulK)	Resolución 0631 de 2015	Cumplimiento
Grasas y Aceites (mg/L)	410	260	26,1	15	No cumple
DBO ₅ (mg/L)	5236	135	141	250	Si cumple
DQO (mg/L)	4378	148	164	500	Si cumple
Sólidos sedimentables (mg/L)	10	2,4	1,3	1,0	No cumple

Fuente: elaboración propia

Según los datos relacionados en la **Tabla 35**, se puede establecer que con la instalación de la trampa de grasas en la zona determinada como malacate y la modificación en la dosificación de los reactivos utilizados en el proceso de clarificación se logra una remoción mejorada significativamente de cada uno de los parámetros críticos (grasas y aceites, sólidos sedimentables, DBO₅ y DQO) puesto que se logran los porcentajes de reducción señalados a continuación:

Grasas y aceites	93,6 %
Sólidos sedimentables	87,0 %
DBO₅	97,3 %
DQO	96,2 %

Luego de establecer que al realizar estos cambios en el proceso, se han conseguido resultados favorables, cabe resaltar que no son suficientes puesto que se siguen presentando en menores cantidades cargas contaminantes que hacen que los parámetros de interés estén por fuera de la normatividad, por lo cual se hace necesario complementar el tratamiento con la evaluación del sistema de filtración actual de la planta.

3.2.3 Filtros. Teniendo en cuenta que el agua antes de ser dispuesta como vertimiento final de la compañía, pasa por un proceso de filtración con arena, grava y carbón activado, como fue descrito en el capítulo anterior de diagnóstico se procede a realizar una revisión sobre el lecho de filtrado y su forma de empaquetado. Es importante aclarar que la composición de dichos filtros no está estipulada de forma clara y formulada, es decir, los operarios están armando dichos filtros de forma empírica, para el primero y el segundo con arena y grava y el tercero con carbón activado.

La arena y grava que se utilizan actualmente son consideradas gruesas, ya que tienen un diámetro promedio mayor de 2mm que dificulta remover sustancias como las grasas y aceites que son el factor más crítico de esta investigación y quedó demostrado en la caracterización realizada después de realizar la modificación sobre el proceso de clarificación, dada esta condición se decidió evaluar los filtros con arena y grava cambiando el diámetro de partícula del lecho de filtración de acuerdo a los parámetros de diseño mencionados en la **Tabla 36** descrita a continuación

Tabla 36. Parámetros de diseño para filtros.

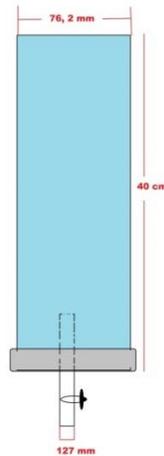
Filtro de arena y grava		Filtro de carbón	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Velocidad de filtración (m ³ /m ² *h)	5 – 7.5	Velocidad de filtración (m ³ /m ² *h)	4 – 6
Lavado en contracorriente	2 a 3 veces el caudal de diseño	Lavado en contracorriente	2 veces el caudal de diseño
Tiempo de retención (min)	30 – 60	Tiempo de retención (min)	30 – 60
Diámetro de partícula (mm)	0.2 – 2	Diámetro absoluto de poro (mm)	0.55 – 0.75

Fuente: ROMERO ROJAS, Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principio de diseño. Bogotá. Escuela de ingeniería, 2000.

Para este procedimiento se construyó un filtro con un tubo PVC de 3 pulgadas de diámetro y 40 cm de largo, tal como se puede apreciar en el diseño mostrado en la **Figura 10**, al mismo se le acopló una saliente con una válvula de bola para controlar el caudal logrando mayor tiempo de retención y mejorar el contacto.³³

³³ Teniendo en cuenta los diseños recomendados por ROMERO ROJAS en su libro Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principio de diseño.

Figura 10. Diseño del filtro para ensayo.



Fuente: elaboración propia

3.2.3.1 Especificación de la arena. Con el fin de determinar la arena requerida para mejorar el proceso de filtración se determinaron algunas de las propiedades más importantes a nivel del laboratorio.

- **Diámetro geométrico.** En una misma muestra de arena se pueden encontrar diferentes valores de diámetro, con éstos se puede por medio de la estadística establecer la tendencia central de tamaño de partícula, con este valor se pueden establecer parámetros como área superficial específica, volumen específico y peso promedio. Para esto fue necesario tomar 10 partículas al azar del total de la muestra y con ayuda de un calibrador realizar la medida de las dimensiones de cada grano. En la **Tabla 37** se relacionan las medidas obtenidas y con la aplicación de la se calcularon los diámetros geométricos correspondientes.

Tabla 37. Medidas de partículas y cálculo de diámetro.

Partícula	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Diámetro calculado (mm)
1	0,68	0,40	0,31	0,44
2	0,73	0,62	0,53	0,62
3	0,76	0,59	0,51	0,61
4	0,89	0,75	0,65	0,76
5	0,71	0,51	0,43	0,54
6	0,64	0,53	0,47	0,54
7	0,82	0,69	0,56	0,68
8	0,77	0,63	0,58	0,66
9	0,59	0,51	0,49	0,53
10	0,61	0,49	0,45	0,51
Diámetro geométrico promedio				0,59

Fuente: elaboración propia

$$D_G = (L * An * Al)^{1/3}$$

Dónde

D_G = Diámetro geométrico

L = Largo de la partícula

An = Ancho de la partícula

Al = Alto de la partícula

- **Esfericidad (\emptyset).** Con el cálculo de esta medida se determina que tan lejos está la partícula de tener la forma de una esfera perfecta, por medio de la **Ecuación 9** se llevó a cabo dicho cálculo, finalmente se consignaron los resultados en la **Tabla 38**, presentada a continuación.

Tabla 38. Cálculo de esfericidad de partícula.

Partícula	Esfericidad
1	0,64
2	0,85
3	0,80
4	0,85
5	0,76
6	0,85
7	0,83
8	0,85
9	0,90
10	0,84
Promedio	0,82

Fuente: elaboración propia

Ecuación 9. Cálculo de esfericidad usando el diámetro geométrico.

$$\emptyset = \frac{D_G}{L}$$

Donde.

\emptyset = Esfericidad

D_G = Diámetro geométrico de partícula

L = Largo de partícula

- **Densidad.** Para estas pruebas se hace necesario realizar el cálculo de la densidad aparente aireada que indica la relación entre la masa y volumen del sólido seco, midiendo la masa de una muestra de arena y luego introduciéndola en una probeta para revisar el volumen ocupado. Por otra parte la densidad aparente empacada mediante el mismo procedimiento pero agitando la probeta

durante 2 minutos para lograr su empaquetado. Los cálculos correspondientes se realizaron utilizando la **Ecuación 10** expresada a continuación, mientras que los resultados obtenidos están relacionados en la **Tabla 39**.

Ecuación 10. Fórmula general para cálculo de densidad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Tabla 39. Resultados medición de densidades para partículas.

Parámetro	Valor
Masa (g)	40,2
Volumen sólido aireado (mL)	24,1
Densidad aparente aireada (g/mL)	1,67
Volumen sólido empacado	22,4
Densidad aparente empacada (g/mL)	1,79

Fuente: elaboración propia

- **Tamaño y distribución de partículas.** Para esto fue necesario utilizar el proceso de tamizado, haciendo pasar la arena a través de una serie de tamices circulares, con diferentes tamaños de poro, alineándolos de forma vertical del más grande al más pequeño y ajustando herméticamente para evitar las pérdidas de material. Posteriormente se someten a una vibración de forma constante por aproximadamente 20 minutos. El primer tamiz fue cargado con 500g de arena luego fueron revisados los demás tamices y se verificaron las cantidades contenidas en cada uno. Los resultados se relacionan en la **Tabla 40**.

Tabla 40. Resultados del tamizado.

No de malla ASTM E 11-87	Abertura (μm)	Masa retenida (g)
30	600	8,8
40	425	38,8
50	300	139,85
60	250	45,9
70	212	114,0
80	180	80,4
100	150	43,85
120	125	18,55
140	106	4,6
Fondo 170	90	0,65
Total masa retenida (g)		495,4
Pérdidas (g)		4,6

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el procedo de tamizado, se puede determinar el diámetro de superficie-volumen que brinda el diámetro único para

toda la muestra de arena, por lo cual se obtiene un dato más uniforme, para hallar dicho valor se utiliza la **Ecuación 11** descrita a continuación.

Ecuación 11. Cálculo del diámetro medio superficie-volumen.

$$D_S = \frac{1}{\sum_{X=1}^n \frac{X_i}{D_{Pi}}}$$

Donde

D_S = Diámetro medio de superficie – volumen

X_i = Fracción másica retenida en el tamiz

D_{Pi} = Diámetros de partícula

Los resultados obtenidos para el cálculo de fracciones másicas y los diámetros de partícula usando la abertura efectiva se relacionan en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Resultados del cálculo de fracciones másicas y diámetros de partícula.

No de malla ASTM E 11-87	Abertura (μm)	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Xi Fracción másica retenida	Dp (mm)
25	710	0,710	-	-	-
30	600	0,600	8,8	0,018	0,655
40	425	0,425	38,8	0,078	0,513
50	300	0,300	139,85	0,282	0,363
60	250	0,250	45,9	0,093	0,275
70	212	0,212	114,0	0,230	0,231
80	180	0,180	80,4	0,162	0,196
100	150	0,150	43,85	0,088	0,165
120	125	0,125	18,55	0,037	0,138
140	106	0,106	4,6	0,009	0,116
Fondo 170	90	0,09	0,65	0,001	0,098

Fuente: elaboración propia

Reemplazando los valores calculados en la **Ecuación 11** se obtiene:

$$D_S = \frac{1}{4,01} = 0,25 \text{ mm}$$

El diámetro de partícula que se obtuvo para este ensayo de laboratorio confirma que la arena es óptima para conseguir una alta retención de grasas y aceites, sólidos disueltos y sólidos suspendidos ya que se encuentra en la categoría de arena fina, su principal característica es que da la menor probabilidad de formar

poros e intersticios grandes que permitan el paso de sustancias como las ya mencionadas.

Al finalizar con los tratamientos propuestos, el agua clarificada fue sometida a cadena de custodia para ser analizados en el laboratorio Analquim LTDA para la medición nuevamente de los parámetros críticos. Los resultados se presentan en la donde también se realiza una comparación de los resultados finales con la normatividad ambiental vigente.

Tabla 42. Resultados de los tratamientos propuesto y su cumplimiento con la normatividad.

Parámetro	Agua Cruda (Laboratorio Analquim LTDA)	Agua tratada en PTAR (Laboratorio Analquim LTDA)	Agua con dosificación corregida (Laboratorio AzulK)	Agua con corrección de filtración (Laboratorio Analquim LTDA)	Res. 0631 de 2015	Cumplimiento
Grasas y Aceites (mg/L)	410	260	26,1	10	15	Si cumple
DBO ₅ (mg/L)	5236	135	111	92	250	Si cumple
DQO (mg/L)	4378	148	110	74	500	Si cumple
Sólidos sedimentables (mg/L)	10	2,4	1,3	0,1	1,0	Si cumple

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en los resultados expuestos anteriormente se obtuvo una reducción para DBO₅ del 98.24%, para DQO del 98.30%, para sólidos sedimentables del 99% y para el parámetro de grasas y aceites del 97.56% esto se debe a la implementación de un pre tratamiento en la zona conocida como malacate en la cual se encontró la mayor carga contaminante y posteriormente en la filtración dado que usando una arena de calibre de 2,5mm y carbón activado con un diámetro de poro entre 0,55mm y 0,75mm, se obtiene mayor retención de sustancias suspendidas y disueltas, por lo tanto mayor eficiencia en el proceso.

Con estos resultados se obtienen parámetros ajustados a la normatividad ambiental vigente, consiguiendo una mejora y alta eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento.

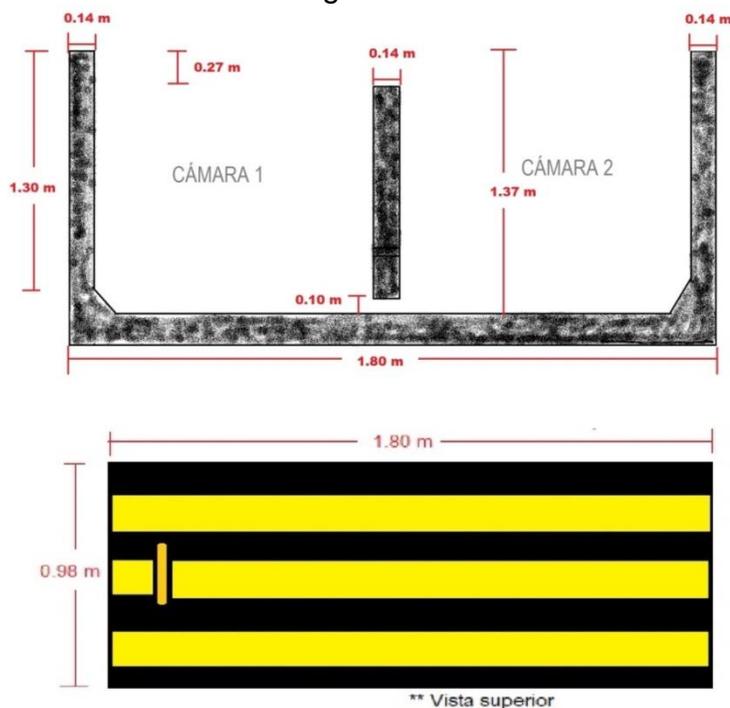
4. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA PRESENTADA

Por medio de este capítulo se pretende describir de forma detallada las características técnicas requeridas para la propuesta de mejora. Entre los requerimientos técnicos a describir se encuentra el dimensionamiento de la trampa de grasas, el ajuste de la dosificación de reactivos en el proceso de clarificación, incluyendo neutralización, coagulación y floculación y finalmente la descripción de las condiciones para el lecho filtrante y la forma de empaquetado para el sistema de filtración, esto con el fin de conseguir una mejora en el tratamiento del agua residual del proceso productivo de AzulK.

4.1 TRAMPA DE GRASAS

Partiendo de las dimensiones de las dos cámaras propuestas 0.98m x 0.90m x 1.37m, es necesario realizar el acople de las tuberías dispuestas en el lugar, a las medidas anteriormente señaladas para favorecer el tratamiento, esta unidad está diseñada para hacer retención del 60 al 80% de la grasa no emulsionada. En la **Figura 11** se relacionan la vista frontal y superior del diseño, y sus principales características funcionales fueron especificadas en el capítulo anterior. (ver **Tabla 28**)

Figura 11. Vista frontal y lateral del diseño de la trampa de grasas malacate.



Fuente: elaboración propia

4.2 DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS QUÍMICOS

Con base a lo trabajado en la práctica de laboratorio se encontraron unas dosificaciones recomendadas para el NaOH, el coagulante y floculante para el proceso de clarificación, por lo tanto a continuación se relaciona lo requerido por la compañía de estas sustancias para mejorar el tratamiento.

- **NaOH.** Gracias a la curva de neutralización realizada previamente (**Gráfica 6**) se puede calcular la cantidad necesaria de hidróxido de sodio al 2%, teniendo en cuenta que para neutralizar una muestra de agua residual de 1000 mL se necesitan 9mL de hidróxido y se logra llevar la muestra de pH 4,31 a 10 unidades que es el habitual para el buen funcionamiento del coagulante y floculante según indicaciones del fabricante. Según esto se conseguirá una concentración de 340 ppm del neutralizante en la muestra.

Con el fin de realizar el escalamiento se tiene en cuenta el caudal de tratamiento durante una jornada laboral de 2.5m³/h procediendo de la siguiente forma:

$$X \text{ L NaOH}(2\%) = 2\,500\,000 \text{ mL A.R.I} * \frac{9\text{mL NaOH}(2\%)}{1000 \text{ mL A.R.I}} * \frac{1\text{L NaOH}(2\%)}{1000\text{mL NaOH}(2\%)}$$

$$X \text{ L NaOH}(2\%) = 22.5 \text{ L NaOH}(2\%)$$

Este resultado indica que AzulK requiere 22,5L de solución al 2% de NaOH para obtener agua residual a pH 10.

$$X \text{ kg NaOH} = 22.5\text{L sln NaOH}(2\%) * \frac{20\,000 \text{ mg NaOH}(99\%)}{1\text{L sln NaOH}(2\%)} * \frac{1\text{kg NaOH}(99\%)}{1\,000\,000 \text{ mg NaOH}(99\%)}$$

$$\text{kg NaOH} = 0.45 \text{ kg NaOH}(99\%)$$

El valor obtenido especifica la cantidad de NaOH sólido que se debe diluir en 32.5L de agua para lograr neutralizar el agua residual de la empresa.

- **Coagulante.** El sulfato de aluminio es el coagulante utilizado por la compañía dado que por medio de diferentes estudios se determinó que es la mejor opción y no altera parámetros críticos como el nivel de cloruros, su referencia según el fabricante es C-21. La jarra 8, en la cual se obtuvo el mejor resultado del ensayo, con un volumen de agua residual de 600mL, se le adicionaron 2mL de coagulante equivalentes a 800ppm.

$$X \text{ L Coag.}(10\%) = 2\,500\,000 \text{ mL A.R.I} * \frac{2 \text{ mL coag.}(10\%)}{600 \text{ mL A.R.I}} * \frac{1\text{L Coag.}(10\%)}{1\,000 \text{ mL Coag.}(10\%)}$$

$$X \text{ L coag.}(10\%) = 8.3 \text{ L coagulante}(10\%)$$

Durante la experimentación el coagulante fue trabajado con concentración del 10%, es decir, 100 000ppm por lo cual se realiza el cálculo de la cantidad de coagulante necesaria para diluirla en 8.3L.

$$kg \text{ Coag.} = 8.3 \text{ L sln coag. (10\%)} * \frac{100\,000 \text{ mg coag. puro}}{1 \text{ L sln coag. (10\%)}} * \frac{1 \text{ kg coag. puro}}{1\,000\,000 \text{ mg coag. puro}}$$

$$kg \text{ coag.} = 0.83 \text{ kg de coagulante puro}$$

- **Floculante.** Durante la prueba experimental de este proyecto se utilizó el floculante Y-373, en las jarras se aplicaron 4mL es decir una concentración de 5ppm de reactivo. La dosificación calculada para AzulK S.A. es:

$$X \text{ L Floc. (0,1\%)} = 2\,500\,000 \text{ mL A.R.I} * \frac{4 \text{ mL Floc. (0.1\%)}}{600 \text{ mL A.R.I}} * \frac{1 \text{ L Floc. (0.1\%)}}{1\,000 \text{ mL Floc. (0.1\%)}}$$

$$X \text{ L Floc (0.1\%)} = 16.7 \text{ L de Floculante(0.1\%)}$$

Este reactivo se preparó a una concentración de 0.1% es decir 1 000 ppm, a continuación se especifica la cantidad de floculante puro que se adiciona en 16.7L de agua.

$$kg \text{ floc} = 16.7 \text{ L sln floc(0.1\%)} * \frac{1000 \text{ mg floc. puro}}{1 \text{ L sln floc. (0.1\%)}} * \frac{1 \text{ kg floc. puro}}{1\,000\,000 \text{ mg floc. puro}}$$

$$kg \text{ floc.} = 0.0167 \text{ kg de floculante puro.}$$

4.2.1 Cantidad de reactivos necesarios para la mejora. Por medio de la **Tabla 43** se relacionan las cantidades requeridas para la mejora del tratamiento a escala industrial, especificando el gasto por tratamiento, gasto mensual y el volumen de las diluciones. Cabe resaltar las siguientes consideraciones:

- La dosis para cada tratamiento representa la cantidad en kilogramos de cada reactivo multiplicada por 16 que representa la jornada en la que opera la planta de tratamiento en la empresa AzulK S.A.
- La dosis mensual es la dosis diaria multiplicada por 30, dado que son los días laborados en la empresa.
- La cantidad de dilución diaria es el volumen escalado de cada reactivo por las 16 horas de jornada de operación de la PTAR.

- Las cantidades de los reactivos fueron calculadas teniendo en cuenta el caudal de operación de la PTAR de 2.5m³/h.

Tabla 43. Cantidades de reactivo a utilizar por tratamiento, mensual y dilución.

Reactivo	Cantidad por tratamiento (kg)	Cantidad mensual (kg)	Dilución por día (L)
NaOH	7.2	216	360
Coagulante C-21	13.3	400	132.8
Floculante Y-373	0.2672	8.01	267.2

Fuente: elaboración propia.

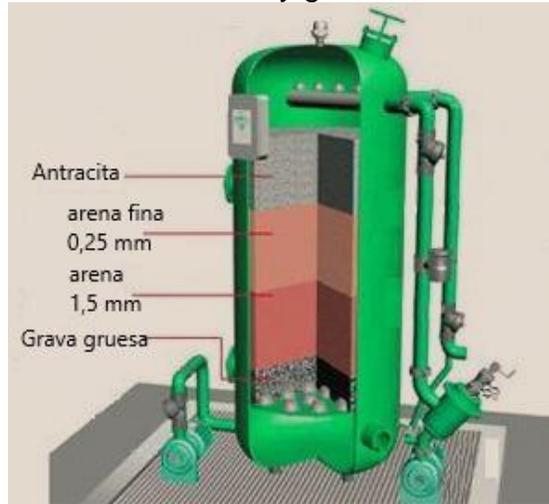
4.3 FILTROS DE ARENA, GRAVA Y CARBÓN.

En esta parte se relacionan las especificaciones respecto al proceso de filtración ya que por medio de la evaluación sobre el lecho filtrante utilizado en los equipos que tiene actualmente la compañía, se pudo determinar los cambios que representan una mejora en las condiciones de operación. Para esto se realiza una breve descripción de la arena a utilizar y la forma correcta de disponer la misma dentro del equipo filtrante. Arena y grava. Como se especificó en el capítulo 2 la planta cuenta con 3 filtros, los dos primeros de arena y grava y el tercero de carbón activado. El medio filtrante evaluado en esta propuesta fue la arena, se debe cambiar el diámetro de partícula del lecho de filtrante a uno de 0.25 mm, esto obedece a los parámetros de diseño mencionados en la Tabla 36, donde se especifica que sea de 0.2mm a 2mm, además es necesaria la filtración a través de un lecho multicapa, que consiste en colocar varias capas de granulometría decreciente de arriba hacia abajo, donde la capa superior sea de material más ligero y 2 o 3 veces de diámetro efectivo mayor que el de la capa inferior.

La mínima altura para la arena en la superficie filtrante debe ser de 40 a 50 cm y se debe tener en cuenta que no incida el agua directamente sobre la arena o grava ya que se crearían caminos y se disminuye la profundidad filtrante. Por encima del lecho filtrante se debe mantener un espacio vacío que sea suficiente para permitir la expansión de la arena de un 15% a un 25% en los lavados. La ventaja de estas especificaciones es que la colmatación del filtro se hará de forma más lenta y esto va a mejorar la penetración de las impurezas a lo largo del lecho.

Por medio de la **Figura 12**, se puede observar la forma recomendada para realizar el empaquetado del filtro de arena y grava con el fin de alcanzar una etapa de proceso eficiente y que cumpla con las condiciones exigidas, cabe aclarar que la arena fina de 0,25mm mencionada fue la trabajada en el laboratorio mientras que la arena de 1,5mm obedece a los parámetros de diseño consultados en literatura.

Figura 12. Forma de empaquetado de filtro de arena y grava.



Fuente: LI YU, M. H. (2013). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*.

4.3.1 Cantidad de arena necesaria para el filtro. Partiendo del volumen establecido en el capítulo del diagnóstico de 0.7m^3 para cada uno de los filtros, se realiza el cálculo de la cantidad de arena en kg necesaria para utilizar en el filtro, por lo cual se procede utilizando la densidad de la arena fina calculada experimentalmente por medio de la **Ecuación 10** cuyo valor es de 1.79g/mL . Con el valor del volumen de lecho y la densidad de arena se procede a calcular la cantidad de arena en kg requerida por cada cámara de filtración por medio de la descrita a continuación

Ecuación 12. Cantidad de arena requerida por cada cámara filtrante.

$$M = \rho * V$$

$$M = 1790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.7 \text{ m}^3 = 1253\text{kg}$$

$$M = 1253\text{kg} * 2 \text{ filtros} = 2506\text{kg de arena fina}$$

4.4 Filtro de carbón activado. Se debe cambiar el diámetro de partícula según las especificaciones relacionadas en la **Tabla 36** a uno más pequeño entre 0.55mm a 0.75mm esto ayuda a reducir la velocidad de colmatación del filtro y a retener las impurezas presentes en el agua residual.

5. ANÁLISIS FINANCIERO

Por medio de este capítulo se pretende describir los costos que representa actualmente el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y los necesarios para la propuesta de mejora aquí desarrollada, esto se llevará a cabo teniendo en cuenta los precios vigentes de las sustancias requeridas según la experimentación y su relación con las posibles sanciones en las que podría incurrir la empresa de no cumplir con lo estipulado en la normatividad ambiental vigente.

5.1 COSTOS DE LA PTAR EN LA ACTUALIDAD

En esta sección se presentan los costos que actualmente acarrea la empresa por la operación, mantenimiento y reactivos o sustancias empleadas en el funcionamiento de la PTAR.

5.1.1 Reactivos. Los compuestos químicos utilizados actualmente para el tratamiento de las aguas residuales por parte de la empresa, son el hidróxido de sodio para neutralizar el agua, el sulfato de aluminio (C-21) como coagulante y el polímero catiónico (Y-373) como floculante. Adicionalmente la arena, grava y carbón activado utilizados en los filtros son cambiados aproximadamente 2 veces al año.

Según los operarios de la planta, que son los encargados de su puesta en marcha, por tratamiento se utilizan 10 kg de soda caustica, 20 kg de sulfato de aluminio y 5 kg de floculante para un tratamiento, además se debe tener en cuenta la cantidad de arena, grava y carbón activado que se utiliza en cada filtro. Ya que el cambio de los filtros se hace 2 veces al año, es decir 1 vez cada 6 meses y que adicionalmente el precio de 40 kg en el mercado es de \$8.200, se realiza la equivalencia de la cantidad de arena que es gastada en cada tratamiento con el fin de calcular el costo de los reactivos por cada tratamiento realizado. Con base en el resultado del cálculo de arena utilizada en los dos filtros de la **Ecuación 12**, en el cual se determinó que para los dos filtros son necesarias 2.506 kg de arena y grava, ahora se procederá a calcular la cantidad gastada por cada tratamiento y a partir de eso el costo diario para la misma.

Ecuación 13. Arena gastada en cada tratamiento de aguas residuales.

$$\frac{2\,506\text{ kg de arena}}{6\text{ meses}} = 417,67 \frac{\text{kg arena}}{\text{mes}} * \frac{1\text{ mes}}{30\text{ días}} = 13,93 \frac{\text{kg arena}}{\text{día tratamiento}}$$

Con el resultado anterior y con el precio actual de 40 kg de arena (\$8.200), se calcula el costo para 13.93 kg de arena que es de \$2.856. Por medio de la **Tabla 44** se relacionan los costos de cada reactivo utilizado por tratamiento.

Tabla 44. Costo total para los reactivos por tratamiento.

Reactivo	Cantidad por tratamiento (kg)	Número de tratamientos por día	Precio del reactivo por kilogramo	Precio por tratamiento diario.
Hidróxido de sodio	10	1	\$ 4.778,25	\$ 47.782,5
Sulfato de aluminio	20	1	\$2.958,51	\$ 59.170,2
Floculante	5	1	\$2.150	\$10.750
Arena y grava	13,93	1	\$ 205,02	\$ 2.856,6
Costo total				\$ 120.559,3

Fuente: elaboración propia.

Dado que el valor obtenido acarrea costo por tratamiento y se sabe que se hace un tratamiento por día, se procede a realizar el cálculo del costo mensual para los reactivos utilizados en la PTAR actualmente de la siguiente forma

Ecuación 14. Costo mensual de reactivos para tratamiento.

$$\frac{\$ 120 559,3}{\text{tratamiento diario}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \frac{\$ 3'616.779}{\text{mes}}$$

5.1.2 Mano de obra. El funcionamiento y mantenimiento de la PTAR está encargado a dos operarios con turno rotativo por semana, por lo cual se tendrá en cuenta el costo de la hora laboral para determinar el parámetro. El valor de la hora laborada para los operarios es de \$5.476, por lo cual para el turno de 8 horas se calcula el salario mensual de la siguiente forma

$$\frac{\$ 5 476}{1h \text{ laboral}} * \frac{8h}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \$ 1'.314.240 * 2 \text{ operarios} = \$2'628.480$$

5.1.3 Gasto energético. La planta cuenta con 7 bombas, las bombas 1 y 2 ubicadas en el pozo de captación son alternadas para la alimentación del tanque de homogenización, la tercera bomba dosificadora para la alcalinización, la cuarta encargada de la alimentación del tanque de coagulación, en la unidad DAF hay una bomba encargada de suministrar las microburbujas de aire, el reactor biológico también cuenta con una bomba para la generación del ambiente aerobio

y finalmente el tanque clarificador secundario cuenta con una bomba para la recirculación de lodos al reactor.

Por medio de la se relacionan los precios asociados por kWh de cada una de las bombas según la potencia, la base de precios es la publicada por Codensa S.A.

Tabla 45. Costo por kWh para las bombas utilizadas en la PTAR.

Bomba	Potencia (kW)	Capacidad máxima (L/h)	Costo (\$/kWh)
Bombas pozo de captación (1 y 2)	0,573	737	\$ 508,16
Bomba de alcalinización	0,250	120	\$ 508,16
Bomba de alimentación tratamiento fisicoquímico	0,373	480	\$ 508,16
Bomba DAF	0,875	1200	\$ 508,16
Bomba reactor biológico aerobio	0,875	1200	\$ 508,16
Bomba recirculación de lodos	0,875	1200	\$ 508,16

Fuente: elaboración propia.

Ahora se procede a calcular el tiempo necesario de funcionamiento de cada una de las bombas mencionadas anteriormente teniendo en cuenta la potencia, el caudal de trabajo de la compañía de 2.500L/h y la capacidad máxima de dosificación de cada bomba

Para las bombas 1 y 2 que funcionan de forma alterna el procedimiento fue el siguiente:

$$1h \rightarrow 737L$$

$$Xh \rightarrow 2500 L$$

$$X = 3,40 h$$

Según el cálculo anterior se requiere que la bomba en funcionamiento esté encendida durante 3 horas y 40 minutos para lograr transportar el caudal de agua residual industrial necesario para su tratamiento.

De forma similar se calcula el tiempo de encendido necesario para la bomba dosificadora utilizada en el proceso de alcalinización del agua teniendo en cuenta que se requiere transportar 562 L durante un día de tratamiento.

$$1h \rightarrow 120 L$$

$$Xh \rightarrow 562 L$$

$$X = 4,7 \text{ h}$$

Lo que indica que se requiere 4 horas y 7 minutos que la bomba permanezca encendida para dosificar la cantidad necesaria de neutralizante al agua residual.

Para la bomba de alimentación del tratamiento fisicoquímico se realizó el cálculo teniendo en cuenta la capacidad de los tanques que es de 1000L

$$1\text{h} \rightarrow 480 \text{ L}$$

$$X\text{h} \rightarrow 1000 \text{ L}$$

$$X = 2 \text{ h}$$

Lo que nos indica que la bomba que transporta el caudal al tanque de tratamiento fisicoquímico debe permanecer encendida durante 2 horas.

Finalmente las bombas ubicadas en el sistema DAF, en el reactor biológico y la de recirculación de lodos cuentan con la misma capacidad máxima y requieren transportar la misma cantidad de caudal de 2500 L, por lo cual el cálculo para las 3 bombas es el siguiente:

$$1\text{h} \rightarrow 1200 \text{ L}$$

$$X\text{h} \rightarrow 2500 \text{ L}$$

$$X = 2 \text{ h}$$

Por lo tanto las bombas 5, 6 y 7 requieren 2 horas de encendido para cumplir con el transporte del caudal necesario en el tratamiento de agua residual industrial.

Con los datos anteriormente calculados se procede a hallar el costo mensual de funcionamiento de cada una de las bombas de la siguiente manera:

- Bombas 1 y 2

$$\frac{3,40 \text{ h}}{\text{día laboral}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,573 \text{ kW}}{\text{h}} * \frac{\$508,1664}{\text{kW}} = \frac{\$29.700,29}{\text{mes}}$$

- Bomba de alcalinización

$$\frac{4,7 \text{ h}}{\text{día laboral}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,250 \text{ kW}}{\text{h}} * \frac{\$508,1664}{\text{kW}} = \frac{\$17.912,87}{\text{mes}}$$

- Bomba de alimentación del tratamiento fisicoquímico

$$\frac{2 \text{ h}}{\text{día laboral}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,373 \text{ kW}}{\text{h}} * \frac{\$508,1664}{\text{kW}} = \frac{\$11.372,76}{\text{mes}}$$

- Bomba DAF, reactor biológico y recirculación de lodos

$$\frac{2 \text{ h}}{\text{día laboral}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,875 \text{ kW}}{\text{h}} * \frac{\$508,1664}{\text{kW}} = \frac{\$26.678,74}{\text{mes}} * 3 \text{ bombas} = \frac{\$80.036,22}{\text{mes}}$$

Finalmente como conclusión y de acuerdo con los cálculos anteriores, el gasto energético que consumen las bombas mensualmente es de \$ 139.022,14.

5.1.4 Sanciones. Partiendo del marco legal, se puede realizar el cálculo de la suma que tendría que pagar la compañía a los entes de control por el incumplimiento de la normatividad ambiental vigente. La sanción se centra en la generación de vertimientos con parámetros por fuera de los valores establecidos en la resolución 0631 de 2015, esto se calcula por medio de la **Ecuación 15** descrita a continuación.

Ecuación 15. Cálculo de tasación de multa por incumplimiento.

$$Multa = B + [(\alpha * i) * (1 + A) + C_a] * C_S$$

Dónde:

B: Beneficio ilícito: es la ganancia que obtiene el infractor, es la relación de la ganancia del producto de la infracción con respecto a la capacidad de detección de la misma. En la se muestra la relación de los factores antes mencionados.

Ecuación 16. Cálculo del beneficio ilícito.

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

Donde

Y: Ingresos generados por producción diaria

P: capacidad de detección de la conducta, dada en función de las condiciones de la autoridad ambiental que puede tomar los siguientes valores:

- Capacidad de detección baja: $p=0,4$
- Capacidad de detección media: $p=0,45$
- Capacidad de detección alta: $p=0,5$

Para el caso que nos compete AZULK genera ingresos diarios de aproximadamente \$45'000.000 y la capacidad de detección que tendría la autoridad ambiental para este caso sería alta teniendo en cuenta la naturaleza de las sustancias trabajadas en la planta, por lo cual se obtendría un beneficio ilícito de:

$$|B| = \frac{\$45'000.000 * (1 - 0,5)}{0,5} = \$45'000.000$$

α : Factor de temporalidad: esta variable se calcula por medio de la relación descrita en la Ecuación 17, siendo d el número de días continuos o discontinuos durante los cuales sucede el ilícito, que para el caso de AZULK corresponde a 365 días de afectación teniendo en cuenta que es una planta con operación 24/7.

Ecuación 17. Cálculo del factor de temporalidad.

$$\alpha = \frac{3}{364} * d + \left(1 - \frac{3}{364}\right)$$

$$\alpha = \frac{3}{364} * 365 + \left(1 - \frac{3}{364}\right) = 3,99$$

i: Grado de afectación ambiental y/o evaluación de riesgo: Para esto se tienen en cuenta unas calificaciones específicas según los criterios establecidos en la resolución con el fin de obtener una estimación de la importancia de la afectación ambiental, para el caso de AzulK S.A. por medio de la se relaciona la calificación otorgada a cada variable que es incluida para determinar este factor

Tabla 46. Ponderación a los atributos de afectación ambiental considerados por la resolución 0631 de 2015.

Atributos	Definición	Ponderación
Intensidad (IN)	Grado de incidencia de la acción sobre el bien en protección	5
Extensión (EX)	Área de influencia de impacto	2
Persistencia (PE)	Tiempo de permanencia del efecto	1
Reversibilidad (RV)	Capacidad del bien de protección de volver a las condiciones iniciales	2
Recuperabilidad (MC)	Capacidad de recuperación del bien por gestión ambiental.	1

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por el cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones (25 de octubre de 2010). Resolución 2086. 2010.

Al establecer la calificación se procede a determinar la importancia de la afectación de acuerdo a la **Ecuación 18**

Ecuación 18. Cálculo de la importancia de afectación.

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

Por lo cual se obtiene

$$I = (3 * 5) + (2 * 2) + 1 + 2 + 1 = 23$$

Según el resultado obtenido se puede establecer un impacto leve según el grado de incidencia de la alteración producida y sus efectos. Esta calificación es necesaria para establecer el monto monetario adjudicado a la importancia de la afectación por medio de la **Ecuación 19**

Ecuación 19. Cálculo de las unidades monetarias por afectación.

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

$$i = (22,06 * \$781.242) * 23 = \$ 396'386.566$$

A: circunstancias agravantes y atenuantes: Esta variable no se considera teniendo en cuenta que la empresa no incurre en este tipo de características.

C_a: Costos asociados: Son costos relacionados a los gastos en los que incurre la autoridad ambiental durante el proceso sancionatorio, dado que no hay tal proceso estos costos son despreciables en este caso.

C_S: Capacidad socioeconómica del infractor: Esta variable debe especificar el tipo cliente, es decir, persona natural, jurídica o ente territorial, para el caso puntual de AZULK se tiene una persona jurídica con clasificación de tamaño de empresa grande, a la cual le corresponde como ponderación según la resolución una calificación de 1.

En la **Tabla 47** se relacionan los valores otorgados a cada uno de los parámetros especificados para calcular la tasación monetaria de la sanción cuestionada.

Tabla 47. Variables necesarias para calcular la sanción monetaria.

Variable	Valor
Beneficio ilícito (B)	\$ 45'000.000
Factor de temporalidad (α)	3,99
Grado de afectación (i)	\$ 396'386.566
Circunstancias agravantes y atenuantes (A)	No aplica
Costos asociados (C _a)	No aplica
Capacidad socioeconómica (C _S)	1

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por el cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones (25 de octubre de 2010). Resolución 2086. 2010.

Empleando la **Ecuación 15**, por medio de la cual se realiza el cálculo de la multa se obtiene como resultado:

$$Multa = \$45'000.000 + [(3,99 * \$396'386.566) * (1 + 0) + 0] * 1$$

$$Multa = \$1.626.582.398$$

5.1.5 Sellamientos. Según el artículo 44 de la ley 1333 de 2009, un cierre temporal o definitivo consta en poner fin a las actividades desarrolladas por una empresa que cause afectación ambiental y el tiempo es definido por el ente de control, que para este caso hace referencia a la secretaria distrital del medio ambiente. El tiempo de cierre se puede extender hasta que la empresa realice las acciones correctivas pertinentes y demuestren la solución de la afectación, esta acción se lleva a cabo después de múltiples llamados de atención y como medida cautelar luego de la multa.

Para el caso puntual de AZULK, se asume que al ser aplicada una multa por no implementar acciones correctivas al incumplimiento de parámetros establecidos por la normatividad ambiental vigente, se procederá a realizar el cierre de la compañía, lo que generaría pérdidas de producción, valor que para un día representa \$45'000.000 aproximadamente según la información suministrada.

5.1.6 Análisis de costos del funcionamiento actual de la PTAR. Luego de establecer todos los costos en los cuales incurriría la empresa mensualmente, se presenta en la **Tabla 48** los datos recolectados.

Tabla 48. Costo total mensual actual de la PTAR.

Parámetro	Costo mensual (\$)
Reactivos	\$ 3'616.779
Mano de obra	\$ 2'628.480
Gasto energético	\$ 139.022
Costo total mensual	\$ 6'384.281

Fuente: elaboración propia

Si se mantienen las condiciones actuales de la PTAR se infringe la resolución 0631 de 2015, por lo tanto es muy probable que serían aplicadas las sanciones antes mencionadas como la multa por \$ 1.626.582.398 y el sellamiento que acarrea como mínimo una semana completa de pérdidas.

5.2 COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN PARA LA MEJORA PROPUESTA

En esta sección se pretende relacionar los costos involucrados en la implementación de la propuesta de mejora aquí desarrollada.

5.2.1 Reactivos presentes en la propuesta de mejora. Teniendo en cuenta el desarrollo experimental y su correspondiente escalada, se pudo determinar la cantidad necesaria de neutralizante, coagulante y floculante. Adicionalmente se estableció el tipo de arena y grava requerida para la composición de los filtros y la cantidad para mejorar el proceso. En la **Tabla 49** se relaciona el costo de los reactivos que son utilizados para el tratamiento diario.

Tabla 49. Costo de reactivos de la propuesta de mejora.

Reactivo	Cantidad por tratamiento (Kg)	Número de tratamientos por día	Precio del reactivo por kilogramo (\$/kg)	Precio por tratamiento diario (\$)
Hidróxido de sodio	7,2	1	\$ 4.778,25	\$ 34.403,4
Sulfato de aluminio	13,3	1	\$2.958,51	\$ 39.348,2
Floculante	0,2672	1	\$2.150	\$ 574,5
Costo total de reactivos por tratamiento				\$ 74.326,1

Fuente: elaboración propia

AZULK realiza tratamiento de aguas residuales industriales los 30 días del mes, por lo tanto se realiza un cálculo del costo mensual de los reactivos por medio de la

Ecuación 20. Cálculo mensual de los reactivos utilizados en la propuesta de mejora.

$$\frac{\$ 74.326,1}{\text{día de tratamiento}} * \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} = \frac{2'229.782,4}{\text{mes}}$$

Para el caso de la arena según la cantidad necesaria y su vida útil, la presentación de 40 kg tiene un costo de \$ 5.200, para lo cual se establece el costo por unidad de kilogramo de la siguiente manera:

$$40 \text{ kg} \rightarrow \$ 5.200$$

$$1 \text{ kg} \rightarrow \$ X$$

$$1 \text{ kg} = \$ 130$$

Por lo cual teniendo en cuenta que se deben adquirir 2506 kg de arena fina que tiene como vida útil 6 meses, el costo total para la arena es de \$ 325.780.

5.2.2 Mano de obra necesaria para la propuesta de mejora. El funcionamiento y mantenimiento de la PTAR seguirá a cargo de los dos operarios actuales por lo cual se mantiene el mismo costo en mano de obra.

$$\frac{\$ 5 476}{1h \text{ laboral}} * \frac{8h}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \$ 1'.314.240 * 2 \text{ operarios} = \$ 2'628.480$$

5.2.3 Gasto energético para la propuesta de mejora. La planta seguirá trabajando con las mismas 7 bombas existentes anteriormente descritas, para la propuesta de mejora el único cambio representativo es la disminución de neutralizante dosificado de 562L a 360L, por lo tanto en la **Tabla 50** se resume el gasto energético calculado para la propuesta.

Tabla 50. Costo de los gastos energéticos implementando la propuesta de mejora.

Bomba	Horas de encendido	Costo energético (\$/kW)
Bombas pozo de captación (1 y 2)	3,40	\$ 29.700,29
Bomba de alcalinización	3	\$ 11.433,74
Bomba de alimentación tratamiento fisicoquímico	2	\$ 11.372,76
Bomba DAF	2	\$ 26.678,74
Bomba reactor biológico aerobio	2	\$ 26.678,74
Bomba recirculación de lodos	2	\$ 26.678,74
Costo mensual del gasto energético consumido por las bombas		\$ 132.543,01

Fuente: elaboración propia

5.2.4 Adquisición de equipos e instalación. Teniendo en cuenta que se propuso la instalación de una trampa de grasas ubicada en la zona conocida como malacate, se relacionan el costo de adquisición e instalación de dicha unidad es de \$ 450.000 iva incluido (19%)

5.2.5 Análisis de costos con la implementación de mejora. Por medio de la **Tabla 51** se presentan los costos de cada uno de los componentes a evaluar para la implementación de la propuesta desarrollada. Deben ser considerados los costos en los que incurre mensualmente la PTAR por mantenimiento y operación, adicionalmente los costos de componentes con vida útil de mayor duración a una mensualidad y finalmente la instalación de la nueva unidad de operación.

Tabla 51. Costos considerables con la implementación de la mejora.

Tipo de costo	Parámetro	Costo (\$)
Costos mensuales	Reactivos	\$ 2'229.782,4
	Mano de obra	\$ 2'628.480
	Gasto energético	\$ 132.543,01
Costo mensual total		4'990.805,41
Adquisición cada seis meses	Arena y grava fina	\$ 325.780
	Carbón activado	\$ 561.234
Adquisición e instalación de equipos	Trampa de grasas	\$ 450.000

Fuente: elaboración propia

5.3 FLUJO DE CAJA

Por medio de la **Tabla 52** y la **Tabla 53** se presenta el flujo de caja para el tratamiento actual de la empresa y el tratamiento implementando la propuesta de mejora, estos informes financieros detallarán los egresos por la utilización de la PTAR en un periodo de un año. Ya que un sistema de tratamiento de aguas residuales no genera ningún ingreso directo, los flujos de caja solo tendrán en cuenta los egresos generados.

Tabla 52. Flujo de caja para el tratamiento de aguas residuales actual.

Detalle de egresos	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Total
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reactivos	-	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.616.779	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.531.081	\$3.616.779	\$42.544.368
Mano de Obra	-	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$31.541.760
Gasto energético	-	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$139.022	\$1.668.266
Posibles sanciones	-	-	-	-	-	\$1.626.582.398	-	-	\$1.941.582.398	-	-	-	\$2.256.582.398	\$5.824.747.194
Total egresos	-	\$6.298.583	\$6.298.583	\$6.298.583	\$6.298.583	\$1.632.880.981	\$6.384.281	\$6.298.583	\$1.947.880.981	\$6.298.583	\$6.298.583	\$6.298.583	\$2.262.966.679	\$5.900.501.588

Fuente: elaboración propia

Tabla 53. Flujo de caja para el tratamiento de aguas residuales de la propuesta de mejora.

Detalle de egresos	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Total
Inversión	\$950.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$950.000
Reactivos	-	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.555.562	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.229.782	\$2.555.562	\$27.408.949
Mano de Obra	-	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$2.628.480	\$31.541.760
Gasto energético	-	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$132.543	\$1.590.516
Total egresos	\$950.000	\$4.990.805	\$4.990.805	\$4.990.805	\$4.990.805	\$4.990.805	\$5.316.585	\$4.990.805	\$4.990.805	\$4.990.805	\$4.990.805	\$4.990.805	\$5.316.585	\$61.491.225

Fuente: elaboración propia

5.3.1 Análisis de los resultados de los flujos de caja. Como se puede apreciar por medio de los flujos de caja relacionados anteriormente, es mucho más factible aplicar la propuesta de mejora desarrollada en el presente trabajo de grado, esto debido a que las sanciones en las cuales podría incurrir AZULK por estar fuera del cumplimiento de la normatividad ambiental vigente son muy altos y representan altas pérdidas para la compañía, lo que perjudicaría las finanzas, mientras que los costos implicados en la propuesta son mucho menores para el tratamiento que los actuales.

Los costos señalados en la Tabla 53 que son los costos por implementar la propuesta de mejora, equivalen al 1,03% del costo de los egresos representados en la **Tabla 52** que corresponden a los costos de seguir realizando el tratamiento de la forma actual.

Adicionalmente se observa que hay una reducción de costos por el gasto de reactivos, esto obedece a que según el ajuste realizado de la dosificación, se requiere menos cantidad que la utilizada actualmente, lo que genera ahorro monetario por cada tratamiento y esto a su vez de forma mensual y por supuesto anual. El ahorro mensual para los reactivos es de \$ 1'301.299, lo que anualmente representa \$ 15'135.419, considerando esta como una suma importante de dinero.

Finalmente se determinó que en cuanto al gasto energético también se presenta un ahorro, ya que al ajustar las nuevas dosificaciones requeridas para el tratamiento en las bombas disponibles, el tiempo de trabajo de las mismas disminuye, representando así un ahorro monetario por tratamiento de \$ 6.479, lo que anualmente obedece a un total de \$ 77.750.

5.4 RELACIÓN COSTO – BENEFICIO

Para aplicar la relación de costo beneficio en la implementación de este proyecto, se entiende como beneficio el ahorro económico que hace la empresa al evitar incurrir en sanciones y/o multas por infringir la normatividad ambiental vigente por incumplimiento de los parámetros exigidos, por lo tanto se utilizan los valores obtenidos por medio de los flujos de caja correspondientes.

Ecuación 21. Relación beneficio - costo aplicada al proyecto.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\$5.900.501.588}{\$61.491.225} = 95.96$$

Como se puede apreciar al aplicar la **Ecuación 21** la relación beneficio/costo, da un valor mayor que 1, lo que indica que es un proyecto viable de aplicar debido a que los beneficios superan los costos y representa una mejora para la compañía.

6. CONCLUSIONES

- El sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa AZULK S.A. recibe como único caudal promedio de agua cruda y contaminada de 2.5m³/h. la planta cuenta con sistema de recepción y homogenización, tratamiento físico-químico, tratamiento biológico y tratamiento de filtración que actualmente presenta características funcionales con fallas ocasionales, por medio del seguimiento realizado, se determinó que la problemática radica en las condiciones operativas de la planta demostrando que el parámetro más crítico de la compañía teniendo en cuenta la naturaleza de las materias primas son las grasas y aceites, lo que exalta la necesidad de una mejora para la PTAR con el fin de lograr un tratamiento efectivo.
- Partiendo del diagnóstico realizado sobre la planta de tratamiento, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica logrando establecer que como propuesta de mejora se presentaría la instalación de una nueva unidad de trampa de grasas en el lugar con mayor carga contaminante con el fin de generar una reducción del parámetro antes del tratamiento final, la modificación sobre el proceso de clarificación y la evaluación final del sistema de filtración, esto teniendo en cuenta la viabilidad técnica, operativa y económica de la compañía.
- Por medio del desarrollo experimental de la propuesta de mejora presentada, se pudo establecer la correcta dosificación para el coagulante sulfato de aluminio (C-21) y el polímero catiónico (Y-373) ambos suministrados por Acuacontrol LTDA, estos siendo los actualmente empleados por la compañía sin variación ya que por medio de diferentes estudios se ha establecido que son los más apropiados para el tipo de agua residual tratada. El análisis físico-químico sobre el agua tratada en el test de jarras arrojó como resultados un porcentaje de reducción para grasas y aceites de 93,63%, para DBO₅ de 97,88%, para la DQO de 97,48% y para sólidos sedimentables del 87%, valores que pese a ser altos no fueron suficientes para lograr el cumplimiento de la normatividad, por lo cual se procedió a realizar una evaluación sobre el lecho filtrante que utiliza actualmente la compañía logrando resultados de remoción muy satisfactorios y dando cumplimiento a la norma que fueron de 97,56% para grasas y aceites, para DBO₅ del 98,24%, para la DQO del 98,30% y finalmente para los sólidos sedimentables del 99%.
- Con base en el análisis financiero elaborado, se logró determinar que la PTAR no cuenta con un ingreso directo, por lo tanto, mejorar el sistema no repercute en una ganancia, pero si es un aporte significativo que beneficia a la empresa ya que evitaría sanciones por parte de los entes de control como multas y sellamientos, ocasionando cese de actividades que repercuten en

un costo muy alto, la inversión, operación y mantenimiento de la planta si se implementa la propuesta aquí desarrollada representa tan solo el 1,03% de la cantidad que representaría el incumplimiento de la normatividad ambiental vigente si la empresa continua con el tratamiento de la manera actual.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis periódicos de la calidad del agua de vertimiento con el fin de monitorear detalladamente el funcionamiento de la planta y verificar la correcta operación de cada unidad
- Evaluar las bombas de vacío ubicadas en planta de producción ya que por antigüedad presentan fugas de aceite hidráulico que es conducido a las rejillas y ocasiona la contaminación del agua.
- Evaluar las unidades de filtración, con el fin de actualizar el proceso implementando nuevas tecnologías.
- Validar el cambio de geometría del tanque clarificador, teniendo en cuenta que su condición rectangular dificulta la remoción de lodos del agua clarificada
- Realizar una evaluación sobre el reuso del efluente de la PTAR en el proceso productivo.

BIBLIOGRAFÍA

AMBIENTUM. (Junio de 2002). *Revista Ambientum*. Recuperado el 3 de Abril de 2018, de http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCCNG1_imprimir.htm

ANALIZA CALIDAD ASESORES. (2010). *Analiza Calidad Asesores*. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://www.analizacalidad.com>

ANDIA CARDENAS, Y. (8 de abril de 2000). *Tratamiento de aguas, coagulación y floculación*. . Recuperado el 17 de marzo de 2018, de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

ASESORES., A. C. (20 de marzo de 2015). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. . Recuperado el 2 de octubre de 2018, de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

CARRIL, A. A. (2013). Universidad Politécnica de Cartagena. *Revamping de una planta de producción de amoníaco*. Cartagena, Colombia.

CASTRO, A. V. (16 de Mayo de 2008). Elaboración de un manual de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales. México, México.

COGOLLO FLÓREZ, J. M. (s.f.). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. Bogotá : Vol 78. No 165.

ECONÓMICO, M. D. (28 de Julio de 2000). RAS-2000. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá D.C., COLOMBIA: Sección II. Título E.

GUILLERMO, C. B. (2005). *Ingeniería económica*. Bogotá: Fondo educativo panamericano.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos NTC 1486-6166. Bogotá D.C., el instituto 2018 ISBN 9789588535673 153p.

LI YU, M. H. (2013). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 1913-1922.

LÓPEZ, B. S. (2016). *Ingeniería Industrial Online.com*. Recuperado el 23 de Marzo de 2018, de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

- M. ESPIGARES García, J. P. (2015). Aguas Residuales. Composición. España.
- MARIANO, S. C. (2004). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. España: mundi prensa.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, M. D. (10 de septiembre de 2007). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Toma de muestras de aguas residuales*. Bogotá D.C., Colombia.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, M. d. (17 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015. Bogotá, Colombia.
- MOTT, R. L. (2006). *Mecánica de fluídos*. México: Pearson.
- NALCO CHEMICAL COMPANY. (1979). *Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. México: Macgraw-hill.
- NEMEROW, N. L. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y pelirosos. ISBN 8479783370/ISBN 8479783370. España: Ediciones Días de Santos.
- RAFAEL, A. V. (1976). Optimizing flocculator power input. Environmental Engineering Division.
- RAMALHO, R. S. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: Reverté.
- RIGOLA LAPEÑA, M. (1989). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. Barcelona: Boixareu editores.
- RIGOLA, L. M. (1990). Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de proceso y residuales. Barcelona, España: Marcombo S.A.
- RIOS, D. d. (2014). Logística inversa en el manejo de residuos provenientes del proceso de saponificación en empresas productoras de jabones en barra. *Universidad Militar Nueva Granada*. Bogotá.
- RODIE, E. y. (1987). Ingeniería Sanitaria. México: Continental S.A.
- ROJAS, R. (2000). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principio de diseño*. Bogotá: Escuela de ingeniería.
- SALVADOR, P. M. (1999). Ingeniería Ambiental. México: Pretince Hall.
- SOSTENIBLE., M. D. (2006). Política Nacional de Producción más limpia. *Bogotá D.C.*, 37-40.

TOMÁŠ KUČERA, L. T. (2016). Methodology for the estimation of the technical condition in the case of water treatment plants. *Elsevier*, 71-76.

UNESCO. (2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Recuperado el 3 de Abril de 2018, de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/>

UTADEO. (30 de Septiembre de 2013). *Universidad Jorge Tadeo Lozano* . Recuperado el 3 de Abril de 2018, de <http://www.utadeo.edu.co/es/noticia/opinion/ingenieria-quimica/82/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-y-sus-avances>

WebMaster - Copyright. (s.f.). *SPENA GROUP*. Recuperado el 4 de Abril de 2018, de <http://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/#1481577066415-f5edacbf-4824>

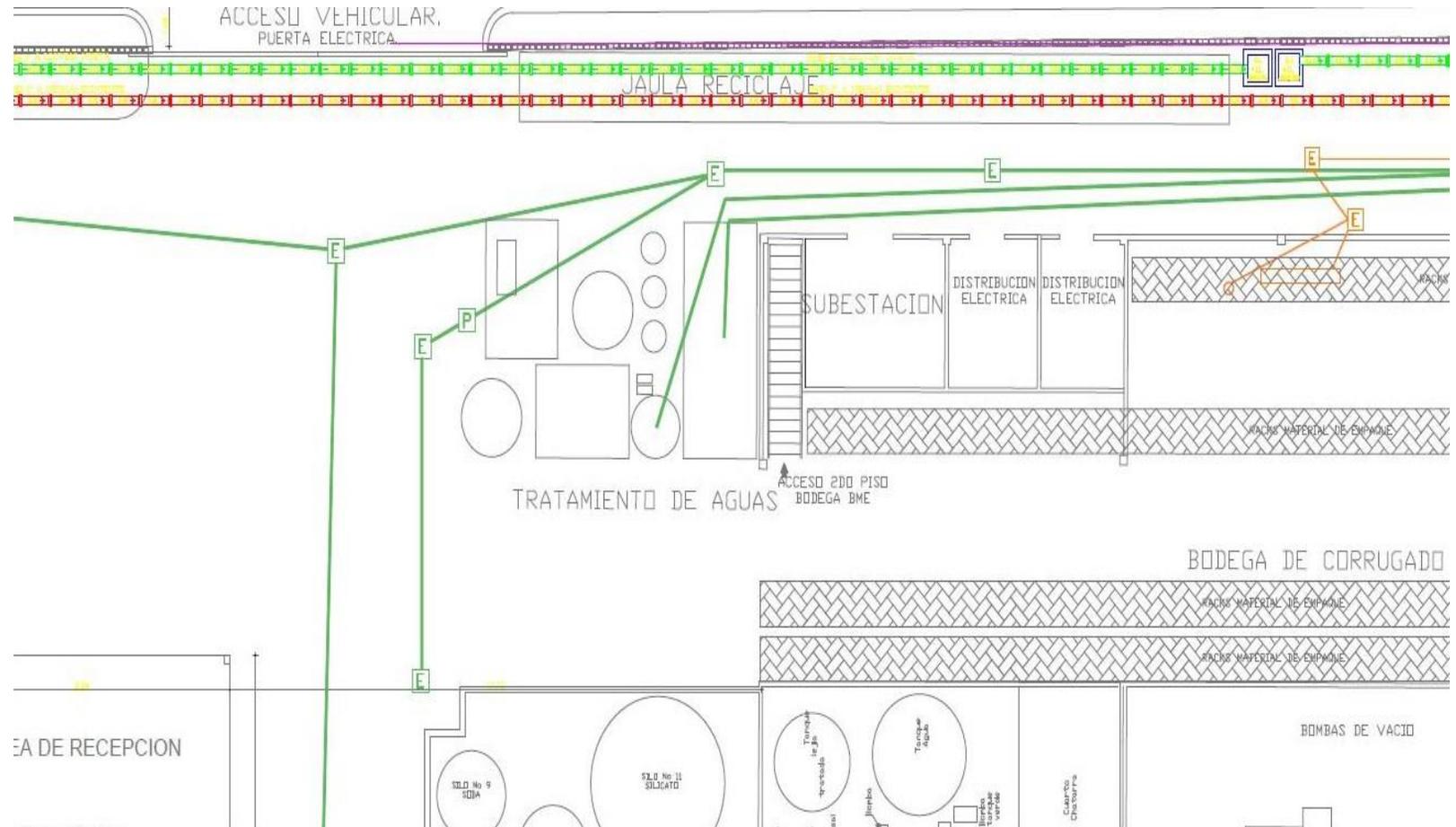
ANEXOS

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
<p>Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.</p>	<p>No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2)-26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.</p>
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
<p>Código NFPA: H3; F0; R1</p>	<p>Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.</p>
<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea CE. IPCS, 2010</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;"> <p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>WHO</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>UNEP</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>MINISTERIO DE SANIDAD</p> </div> </div>	

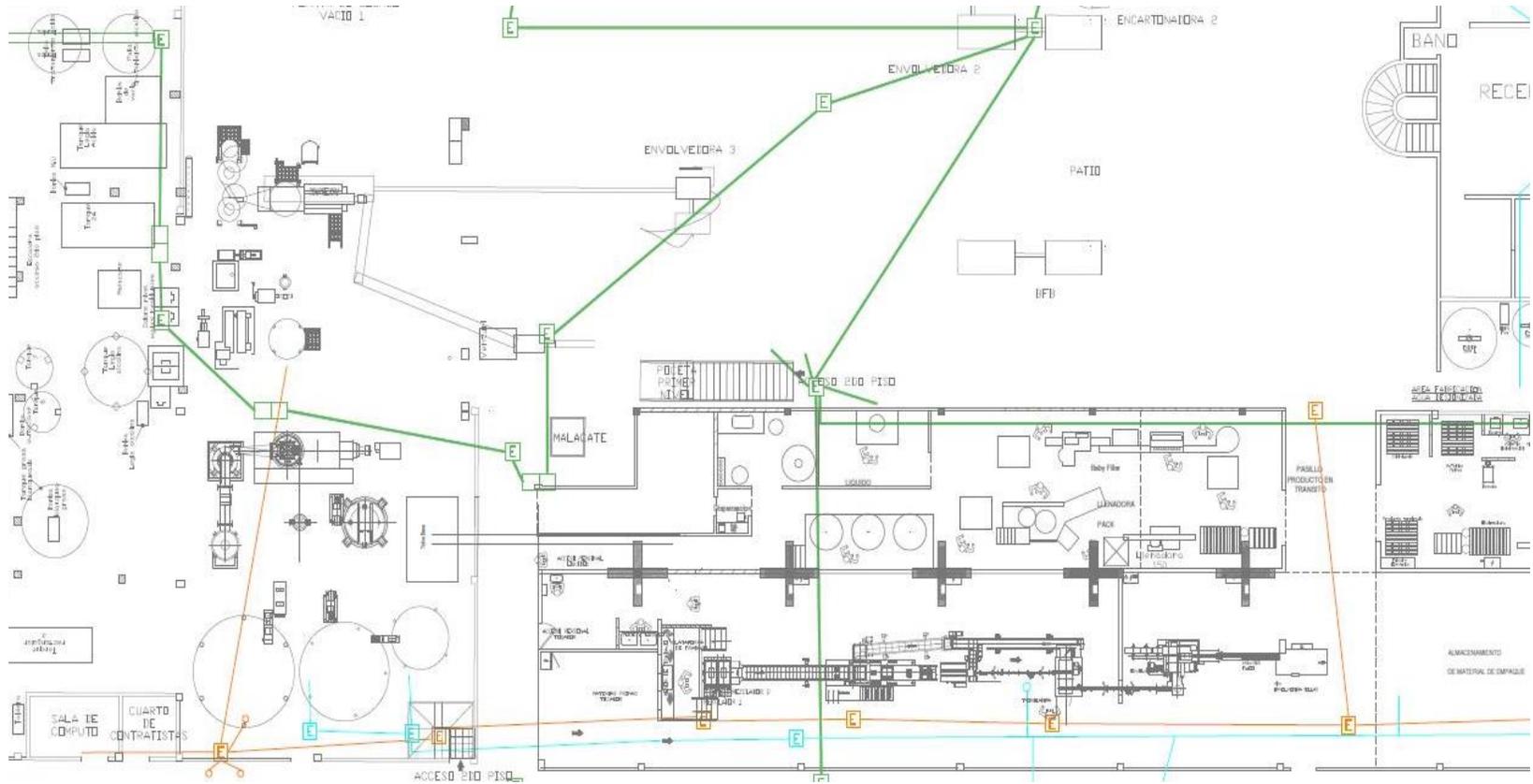
**ANEXO B.
FICHA DE SEGURIDAD SULFATO DE ALUMINIO**

SULFATO DE ALUMINIO		ICSC: 1191
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Cristales brillantes o polvo de color blanco. Inodoro.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone al calentarse produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo azufre. Reacciona con bases y violentamente con fuertes, liberando calor y humos tóxicos y corrosivos, óxidos de azufre. La disolución en agua es Átaca a muchos metales en presencia de agua.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV no establecido. MAK no establecida.</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva suspendidas en el aire cuando se dispersa, especialmente forma de polvo.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita gravemente los ojos, el tracto levemente la piel.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, alteraciones funcionales.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Se descompone a 770°C. Densidad: 2.71 g/cm³ Solubilidad en agua: elevada. Ver Notas.</p>		
DATOS AMBIENTALES		
<p>La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.</p>		
NOTAS		
<p>Presente en la naturaleza como el mineral Alunogenita. Otros nos CAS: 16828-12-9 (14-hidrato); 16828-11-8 (16-hidrato); 7784-31-8 (18- hidrato); 17927-65-0 (x-hidrato). El sulfato de aluminio se hidroliza en agua formando ácido sulfúrico y liberando calor. Los valores de la bibliografía para la solubilidad de esta sustancia son muy diferentes debido al proceso de hidrólisis.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>NOTA LEGAL Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>		
© IPCS.		

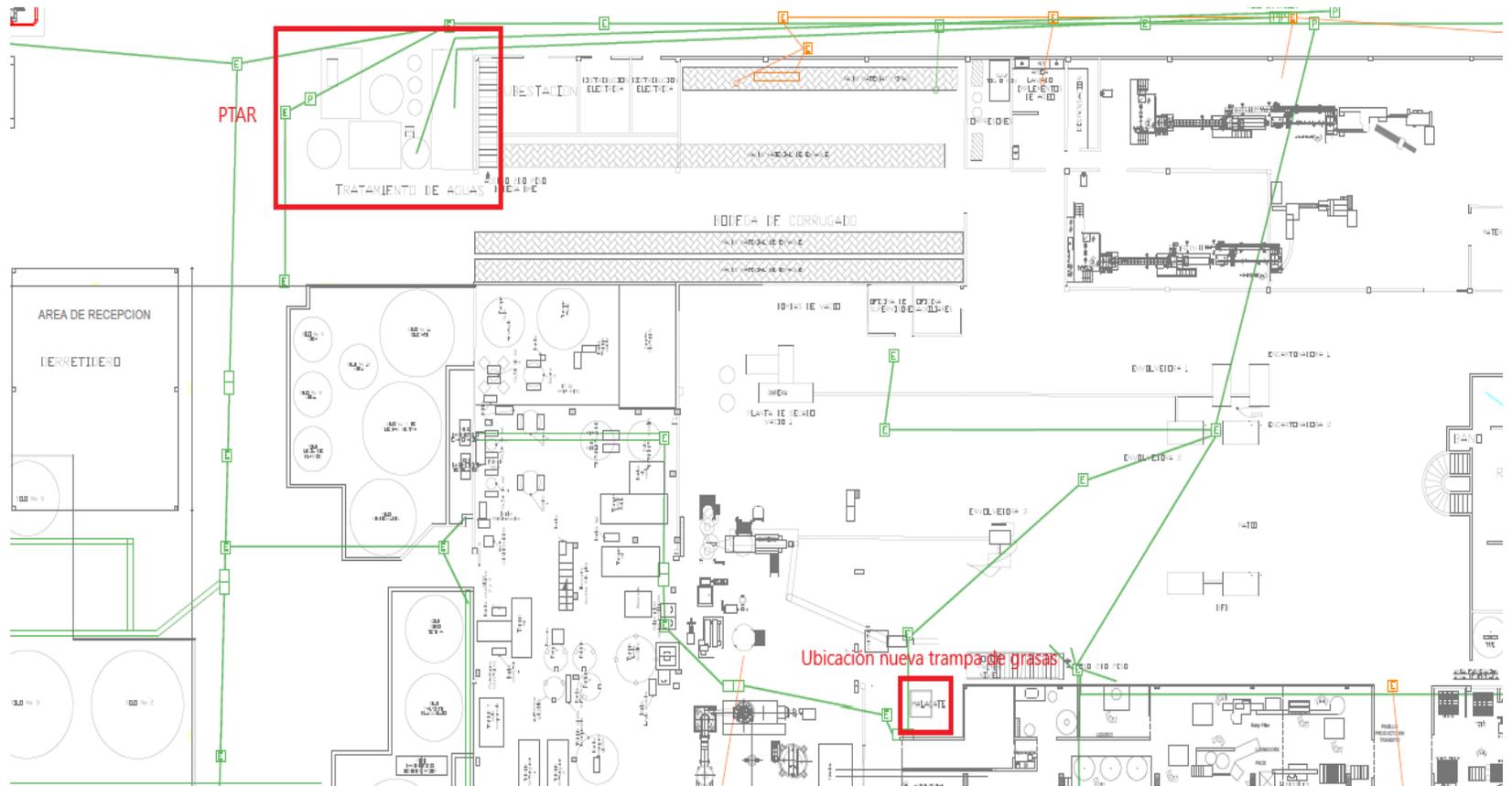
ANEXO C. PLANO DE LA PTAR ACTUALMENTE



ANEXO D. UBICACIÓN DEL MALACATE EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN



ANEXO E. PLANO UBICACIÓN DE LA NUEVA TRAMPA DE GRASAS Y LA PTAR



ANEXO F.
RESULTADOS CARACTERIZACIÓN FINAL ANALQUIM LTDA

FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA:		2018-06-14	HORA TOMA DE LA MUESTRA:		08:30H - 16:30H
FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:		2018-06-15			
RESULTADOS					
<i>ENSAYO</i>	<i>FEC-ANALISIS</i>	<i>TECNICA DE ANALISIS</i>	<i>REFERENCIA</i>	<i>RESULTADO</i>	
a. ACIDEZ TOTAL	2018-06-15	Volumétrico	SM 2310 B	65 mg/L CaCO ₃	
a. ALCALINIDAD TOTAL	2018-06-15	Volumétrico	SM 2320 B 22 th. Edition. 2012.	280 mg/L CaCO ₃	
a. ARSÉNICO	2018-06-22	Espectrofotometría de A.A - Hidruros	SM 3030 K, SM 3114 C	<0,005 mg/L As	
b. CADMIO SUB	2018-06-25	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	SM 3030 E, SM 3111 B	<0,01 mg/L Cd	
a. CLORUROS	2018-06-15	Volumétrico	SM 4500-Cl B 22 th. Edition. 2012.	105,1 mg/L Cl-	
a. COBRE	2018-06-22	Espectrofotometría de A. A.	SM 3030 K, SM 3111 B	<0,05 mg/L Cu	
a. COLOR REAL - 436 NM	2018-06-16	Colorimétrico	ISO 7887 - 2011 B Método B	0,8 m-1	
a. COLOR REAL - 525 NM	2018-06-16	Colorimétrico	ISO 7887 - 2011 B Método B	0,1 m-1	
a. COLOR REAL - 620 NM	2018-06-16	Colorimétrico	ISO 7887 - 2011 B Método B	0,0 m-1	
c. COMPUESTOS ORGÁNICOS HALOGENADOS ADSORBIBLES SUB	2018-07-19	Método Externo	W0004	<0,15 mg/L	
a. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES NO HALOGENADOS (BTEX)	2018-06-21	Cromatografía de Gases	EPA 8015 C, EPA 5021 A	Ver Anexo 1	
a. CROMO	2018-06-22	Espectrofotometría de A. A.	SM 3030 K, SM 3111 B	<0,05 mg/L Cr	
a. D.B.O. 5	2018-06-15	Incubación 5 días y electrodo de membrana	SM 5210 B, 4500-O G	16 mg/L O ₂	
a. D.Q.O.	2018-06-15	Reflujo abierto y titulación	SM 5220 B	74 mg/L O ₂	
a. DUREZA CÁLCICA	2018-06-15	Volumétrico	SM 3500-Ca B	35 mg/L CaCO ₃	
a. DUREZA TOTAL	2018-06-15	Volumétrico	SM 2340 C 22 th. Edition. 2012.	52 mg/L CaCO ₃	
a. FENOLES	2018-06-19	Espectrofotométrico Directo	SM 5530 B, D	<0,07 mg/L	
a. FÓSFORO REACTIVO TOTAL	2018-06-15	Colorimétrico	SM 4500-P D	0,06 mg/L P	
a. FOSFORO TOTAL	2018-06-15	Colorimétrico	SM 4500-P B, E	<0,1 mg/L P	
OBSERVACIONES: Muestra compuesta recolectada por personal de ANALQUIM LTDA. Procedimiento ANQ-PR-018 y plan de muestreo ANQ-PL-091.					
Nombre del muestreador: Jeisson Fernando Bustamante Torres. Tecnólogo Ambiental. c.c. 1014280231 de Bogotá					

RESULTADOS				
<i>ENSAYO</i>	<i>FEC-ANALISIS</i>	<i>TECNICA DE ANALISIS</i>	<i>REFERENCIA</i>	<i>RESULTADO</i>
a. GRASAS Y ACEITES	2018-06-22	Extracción Soxhlet	SM 5520 D	10 mg/L
a. HIDROCARBUROS AROMATICOS POLINUCLEARES	2018-07-07	Cromatografía de gases	EPA 3510 C - EPA 8100	Ver Anexo 2
a. HIDROCARBUROS TOTALES	2018-06-22	Extracción Soxhlet	SM 5520 D, F	<10 mg/L
a. IN SITU CAUDAL	2018-06-14	Volumétrico	NTC-ISO 5667-10	0,613 L/s
a. IN SITU PH	2018-06-14	Electrométrico	SM 4500-H+ B	7,57 - 7,85 Unidades
a. IN SITU SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2018-06-14	Volumétrico - Cono Imhoff	SM 2540 F	<0,1 mL/L
a. IN SITU TEMPERATURA	2018-06-14	Termométrico	SM 2550 B	17,0 - 18,0 °C
a. MERCURIO	2018-06-22	Espectrofotometría de A. A. - Vapor frío	SM 3112 B	<0,002 mg/L Hg
a. NÍQUEL	2018-06-22	Espectrofotometría de A. A.	SM 3030 K, SM 3111 B	<0,05 mg/L Ni
a. NITRATOS	2018-06-15	Espectrofotométrico U. V.	SM 4500-NO3 B	0,6 mg/L N
a. NITRITOS	2018-06-15	Colorimétrico	SM 4500-NO2 B	0,580 mg/L N
a. NITROGENO AMONIACAL - AMONIO	2018-06-16	Volumétrico	SM 4500-NH3 B, C	55,0 mg/L N
a. NITRÓGENO TOTAL	2018-06-16	Cálculo		78,2 mg/L
a. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	2018-06-16	Volumétrico	SM 4500 N ORG C, 4500-NH3 B, C	77,0 mg/L N
a. PH - COLOR	2018-06-16	Electrométrico	SM 4500 H-B	8,03 Unidades
a. PLOMO	2018-06-22	Espectrofotometría de A. A.	SM 3030 K, SM 3111 B	<0,02 mg/L Pb
a. SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2018-06-12	Gravimétrico - Secado a 105°C	SM 2540 D	12 mg/L
a. SULFATOS	2018-06-15	Turbidimétrico	SM 4500-SO4 E 22 th. Edition. 2012.	388,6 mg/L SO4
a. SULFUROS	2018-06-19	Iodométrico	SM 4500 S-F	<0,8 mg/L S
OBSERVACIONES: Muestra compuesta recolectada por personal de ANALQUIM LTDA. Procedimiento ANQ-PR-018 y plan de muestreo ANQ-PL-091.				
Nombre del muestreador: Jeisson Fernando Bustamante Torres. Tecnólogo Ambiental. c.c. 1014280231 de Bogotá				

ANEXO G
RESOLUCIÓN 2086, INSTRUCTIVO PARA TASACIÓN DE MULTAS
SANCIONATORIAS

