

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS
INVERSIONES FASULAC LTDA.

MIGUEL ANGEL LEITON SALAMANCA
PAULA ANDREA SEDANO CABRERA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTA D.C.
2017

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS
INVERSIONES FASULAC LTDA.

MIGUEL ANGEL LEITON SALAMANCA
PAULA ANDREA SEDANO CABRERA

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

Director
Joaquín Emilio Caicedo de las Fuentes
Ingeniero de Alimentos

Co- Director
Nubia Liliana Becerra Ospina
Ingeniera Química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTA D.C.
2017

Nota de Aceptación:

Presidente de jurados. Elizabeth Torres Gamez

Firma de Jurado 1. Nubia Liliana Becerra

Firma de Jurado 2. Jaime Arturo Calvache

Bogotá D.C. Marzo 2017

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 GARCIA-PEÑA.

Vice-rectora Académica y de Posgrados:

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS.

Secretario General:

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA.

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 los autores.

El siguiente proyecto está dedicado a:

A **Dios**, por haberme permitido alcanzar esta pequeña pero invaluable meta y ayudarme a superar las adversidades que se presentaron en este largo pero exitoso camino, además de haber colocado en mi sendero de vida a las siguientes personas:

A mi mamá **Mariela**, por ser la líder y autoridad en nuestra familia, por orientarme a seguir hacia adelante, por enseñarme e inculcarme el respeto, la amabilidad, la responsabilidad y valorar cada uno de mis días que al fin al cabo es un regalo que la vida nos brinda. También por ser mi apoyo, mi motor y mi motivación en esos momentos difíciles y por el amor que siempre me enviaba a pesar de no poderla ver todos los días.

A mi papá **Hernando**, por ser un caballero, por ser mi ejemplo a seguir y por ser un apoyo para mi mamá, por representar la humildad, responsabilidad, disciplina y tenacidad, por demostrarme la sencillez, representada en nunca olvidar de dónde vengo ni tampoco para donde voy.

A mi compañera de tesis **Paula**, que sin lugar a dudas, se convirtió en mi viento, mi luz y mis ganas de seguir luchando por unos sueños que apenas están empezando, por ser además, mi cómplice, mi aliada y mi soporte, agradezco su paciencia, su cariño, sus palabras y sus acciones.

A mis hermanos **Wilson** y **Felipe** por inculcarme el profesionalismo, a mi hermano menor **Sebastián**, porque este logro me ayuda a demostrarle que las cosas se pueden conseguir con amor y con disciplina.

A mi suegra **Sandra**, por todo su apoyo, y que sin su ayuda este logro no se hubiese podido completar de la manera tan hermosa como se culminó.

También agradezco a todas esas personas entre ellas profesores, conocidos y amigos que dieron motivaciones y sirvieron de enlace para culminar este proyecto de una muy buena manera, de antemano mil gracias.

Miguel Angel Leiton Salamanca.

Quiero dedicar este proyecto a las personas que han marcado un hito importante en mi formación como profesional y como persona, en primer lugar a mi madre Sandra Cabrera quien me ha brindado sus enseñanzas y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, también quiero dedicárselo a mi Padre Miguel Sedano, que aunque ya no me acompaña en este mundo terrenal tengo la seguridad de que me guía en cada paso que doy.

A mi hermanito Miguel Angel Sedano, que ha sido el motor que me impulsa a seguir adelante desde que nació y la persona que me inspira a ser un ejemplo a seguir.

A mi compañero en este trabajo de grado y compañero de vida, Miguel Leiton por ser más que mi novio, ser mi mejor amigo, ser mi confidente y enseñarme que con amor, esfuerzo y perseverancia podremos conseguir todo lo que nos proponemos juntos.

Por último, a toda mi familia por ser el pilar de mi camino y estar presente otorgándome la fortaleza necesaria para culminar este logro.

Paula Andrea Sedano Cabera.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido posible gracias a la ayuda de personas que han compartido su experiencia, tiempo y conocimientos, por ello los autores expresan sus agradecimientos a:

Inversiones Fasulac Ltda. por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo nuestro trabajo de grado en sus instalaciones y por la disposición y acompañamiento continuo en el desarrollo del mismo por parte de los operarios quienes nos otorgaron valiosos aportes.

Al Administrador de la empresa, el señor José Merardo Cabrera, por su confianza depositada en nuestros conocimientos, por su guía constante en las adversidades, por sus consejos que fueron de gran apoyo y todo el tiempo dedicado al desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Joaquín Caicedo, que en su calidad de director del proyecto, nos proporcionó su colaboración, apoyo técnico y tiempo para asesorarnos en las diferentes etapas del proyecto.

A la Ingeniera Elizabeth Torres por sus aportes estructurales del documento, su asesoría constante y los consejos en situaciones de adversidad.

A la Ingeniera Nubia Becerra por la disposición para resolver cada una de las dudas presentadas, la colaboración en cada etapa del proyecto y por aconsejarnos siempre de la mejor forma.

Al Ingeniero Orlando Cucunubá por guiarnos en el desarrollo experimental del proyecto, por brindarnos las herramientas necesarias para lograr su feliz término y el conocimiento compartido con nosotros.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	24
OBJETIVOS	25
1. GENERALIDADES	26
1.1 INVERSIONES FASULAC LTDA	26
1.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	27
1.2.1 Vertimiento en la industria láctea.	27
1.2.2 Características de aguas residuales industriales.	28
1.2.3 Tratamiento de aguas residuales.	28
1.2.3.1 Tratamientos primarios.	29
1.2.3.2 Tratamiento secundario.	33
1.2.3.3 Tratamiento terciario.	34
1.3 MARCO LEGAL	36
2. DIAGNÓSTICO	38
2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN	38
2.1 BALANCE HÍDRICO	41
2.1.1 Fuente de suministro y red hidráulica de agua potable.	41
2.1.2 Redes de aguas residuales.	41
2.1.3 Agua de consumo.	43
2.1.4 Agua residual generada.	44
2.1.5 Balance general de agua.	49
2.2 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	51
2.2.1 Comportamiento del pH, caudal y temperatura promedio.	52
2.2.1.1 Temperatura.	52
2.2.1.2 pH.	52
2.2.1.3 Caudal.	53
2.2.2 Unidades existentes para el control de calidad de las aguas residuales industriales.	54

2.2.3 Operaciones y procesos unitarios existentes en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Inversiones Fasulac Ltda.	55
2.2.4 Descripción del sistema de tratamiento.	56
2.2.4.1 Tratamiento preliminar.	56
2.2.4.2 Tratamiento fisicoquímico primario.	62
2.3 REVISION DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE	67
2.3.1 Método de muestreo.	67
2.3.2 Caracterización del agua residual.	68
2.3.3 Análisis de los parámetros críticos del vertimiento.	69
3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INVERSIONES FASULAC LTDA.	71
3.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA	71
3.1.1 Parámetros representativos a tener en cuenta.	71
3.1.2 Alternativas de mejora.	71
3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN	73
3.3 METODOLOGIA DE MATRIZ DE SELECCIÓN	76
4. DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA A NIVEL LABORATORIO	79
4.1 NEUTRALIZACIÓN	79
4.2 CLARIFICACIÓN	80
4.2.1 Descripción de reactivos a usar para clarificación.	81
4.2.2 Test de jarras.	83
4.3 FILTRACIÓN	95
4.3.1 Filtro.	96
4.3.2 Caracterización de la arena.	97
4.4 INTERCAMBIO IÓNICO	104
5. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA SELECCIONADA	110
5.1 DOSIFICACION DE REACTIVOS QUÍMICOS	110
5.1.1 Cantidad de reactivos necesarios para la implementación de la propuesta de mejora.	112
5.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	113

5.2.1 Filtro de Arena.	113
5.2.2 Cantidad de arena fina necesaria para el filtro.	114
5.2.3 Dimensiones del lecho y del equipo de intercambio iónico.	114
5.2.4 Dimensiones del tanque de salmuera (sustancia regenerante).	117
5.2.5 Funcionamiento de intercambiador iónico y regeneración.	118
6. ANALISIS DE COSTOS	121
6.1 COSTOS DE LA PTAR EN LA ACTUALIDAD	121
6.1.1 Reactivos.	121
6.1.2 Mano de obra.	122
6.1.3 Gasto energético consumido por las bombas.	123
6.1.4 Lavado de equipos de la planta de tratamiento.	125
6.1.4 Sanciones.	125
6.1.5 Sellamientos.	129
6.1.6 Análisis de costos del funcionamiento actual de la empresa.	130
6.2 COSTOS DE LA IMPLEMETANCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	130
6.2.1 Reactivos presentes en la propuesta de mejora.	130
6.2.2 Mano de obra necesaria para propuesta de mejora.	132
6.2.3 Gasto energético consumido en la implementación de la mejora.	133
6.2.4 Adquisición de equipos e instalación.	134
6.2.5 Lavado de equipos de la PTAR con la propuesta de mejora.	135
6.2.6 Análisis de costos con la implementación de la mejora.	135
6.3 FLUJO DE CAJA	136
6.3.1 Análisis de los resultados de los flujos de caja.	138
7. CONCLUSIONES	139
8. RECOMENDACIONES	141
BIBLIOGRAFIA	142
ANEXOS	146

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros de la resolución 0631 de 2015 para productos lácteos.	36
Tabla 2. Registro de los consumos de agua bimensual en Inversiones Fasulac Ltda. según facturación.	44
Tabla 3. Estimativo de los consumos de agua en dependencia doméstica por individuo –personal permanente.	47
Tabla 4. Estimativo de los consumos de agua en dependencia doméstica por individuo –personal flotante.	48
Tabla 5. Datos obtenidos de la caracterización del agua residual de la empresa de lácteos Inversiones Fasulac Ltda.	68
Tabla 6. Comparación de los datos del agua tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales con la normatividad vigente.	68
Tabla 7. Calificación para evaluar las alternativas	76
Tabla 8. Matriz de selección de la alternativa de mejora.	77
Tabla 9. Condiciones de operación fijas para	83
Tabla 10. Parámetros iniciales del agua	83
Tabla 11. Resultados del primer ensayo de jarras	86
Tabla 12. Resultados de segundo ensayo de jarras	87
Tabla 13. Resultados de tercer ensayo de jarras	88
Tabla 14. Resultados del cuarto ensayo de jarras	89
Tabla 15. Recopilación de resultados de los ensayos de jarras para evaluación de coagulante	90
Tabla 16. Comparación de parámetros de agua cruda y agua tratada con la modificación de clarificación	93
Tabla 17. Variables fijas en la clarificación previa a la filtración e intercambio iónico	94
Tabla 18. Medida de partículas de arena y diámetro geométrico	98
Tabla 19. Resultados de esfericidad	99
Tabla 20. Datos y resultados de densidad	100
Tabla 21. Resultados del proceso de tamizado	101
Tabla 22. Resultados de fracciones másicas y diámetros de partícula según abertura efectiva	102
Tabla 23. Recopilación de resultados de características en cada proceso.	106
Tabla 24. Comparación de parámetros de agua cruda, agua tratada con la modificación de clarificación y agua con tratamiento de intercambio iónico.	107
Tabla 25. Recopilación de porcentajes de remoción a través de los tratamientos realizados.	108

Tabla 26. Cantidad de hidróxido de sodio, coagulante y floculante para caudal de 0,18 m ³ /h	113
Tabla 27. Costo total de reactivos por tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa Inversiones Fasulac Ltda.	122
Tabla 28. Costo por kWh de cada bomba que se utilizan en la empresa Inversiones Fasulac Ltda.	123
Tabla 29. Valores otorgados a los atributos considerados por la resolución para calificación de afectación ambiental en el caso de Inversiones Fasulac Ltda.	127
Tabla 30. Recopilación de valores otorgados a las variables necesarias para cuantificar la multa.	129
Tabla 31. Recopilación de costos mensuales actuales en la PTAR.	130
Tabla 32. Costos por sanciones y sellamiento.	130
Tabla 33. Costos de reactivos por tratamiento diario con la implementación de la propuesta de mejora.	131
Tabla 34. Costos de componentes con vida útil extendida necesarios para la implementación de la propuesta de mejora	132
Tabla 35. Costo de adquisición e instalación de equipos.	135
Tabla 36. Costos a considerar con la implementación de la mejora en la PTAR.	136
Tabla 37. Flujo de caja para el sistema de tratamiento de aguas residuales actual de la compañía.	137
Tabla 38. Flujo de caja para el sistema de aguas residuales de la propuesta de mejora.	137

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de la planta de producción Inversiones Fasulac Ltda.	26
Figura 2. Diagrama general de operaciones unitarias del proceso productivo.	39
Figura 3. Distribución de red sanitaria de agua residual industrial, aguas lluvias, y agua residual doméstica.	43
Figura 4. Diagrama del balance hídrico en la empresa Inversiones Fasulac Ltda. donde su marca representativa es Lácteos Superior.	51
Figura 5. Disposición de la trampa de grasas, pozo de bombeo y flujo del agua a través de las cámaras.	57
Figura 6. Disposición de la trampa de grasas y flujo de agua a través de ella.	58
Figura 7. Esquema de entrada del agua desde la trampa de grasas (cámara 2) al pozo del bombeo.	61
Figura 8. Tanque de igualación de caudales, pH y temperatura.	62
Figura 9. Tanque de tratamiento fisicoquímico, clarifloculador.	64
Figura 10. Filtro de arena.	65
Figura 11. Diagrama de bloques del tratamiento del agua residual industrial realizados en Inversiones Fasulac Ltda.	66
Figura 12. Coagulantes preparados al 10%.	84
Figura 13. Floculantes preparados al 0,1%.	85
Figura 14. Ensayo de jarras 1 para determinación de polímero floculante.	86
Figura 15. Ensayo de jarras 2 para evaluación de Cloruro férrico.	87
Figura 16. Ensayo de jarras 3 para evaluación de Policloruro de aluminio.	88
Figura 17. Ensayo de jarras 4 para evaluación de Sulfato de aluminio.	89
Figura 18. Comparación del agua tratada con condiciones óptimas y el agua cruda.	91
Figura 19. Muestra titulada para determinación de cloruros.	92
Figura 20. Muestra de agua cruda respecto a agua clarificada previa a la filtración e intercambio iónico.	95
Figura 21. Arena gruesa utilizada en la filtración actual.	96
Figura 22. Plano e imagen del montaje filtro de arena (medidas del plano en mm).	97
Figura 23. Arena fina caracterizada en laboratorio.	103
Figura 24. Resina de intercambio iónico.	104
Figura 25. Comparación de agua cruda, clarificada, filtrada y con aplicación de intercambio iónico.	106
Figura 26. Comportamiento de la resina aniónica fuertemente básica respecto a los aniones presentes en el agua residual y su regeneración.	109
Figura 27. Representación gráfica de la columna de intercambio iónico.	117

Figura 28. Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales con disposición recomendada de las nuevas unidades de proceso.

120

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Características de las aguas residuales industriales.	28
Cuadro 2. Clasificación de tratamientos de agua residual.	29
Cuadro 3. Información técnica de la cuenta interna de suministro de agua.	41
Cuadro 4. Descripción de las unidades para el control de calidad de las aguas residuales industriales.	55
Cuadro 5. Sistema de tratamiento fisicoquímico existente para las aguas residuales industriales en Inversiones Fasulac Ltda.	56
Cuadro 6. Sistema de dosificación de reactivos.	66
Cuadro 7. Criterios de selección según viabilidad técnica y porcentajes otorgados.	74
Cuadro 8. Criterios de selección según viabilidad operativa y porcentajes otorgados.	75
Cuadro 9. Criterios de selección según viabilidad técnica y porcentajes otorgados.	75
Cuadro 10. Descripción de coagulantes usados en la clarificación.	81
Cuadro 11. Descripción de los floculantes usados en la clarificación.	82
Cuadro 12. Clasificación del índice de Willcomb.	85
Cuadro 13. Características específicas de la resina utilizadas en las pruebas a nivel laboratorio.	105

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Promedio diario de la temperatura registrada cada media hora a la salida de Inversiones Fasulac Ltda.	52
Gráfica 2. Promedio diario del pH registrado cada media hora a la salida de Inversiones Fasulac Ltda.	53
Gráfica 3. Promedio diario del caudal registrado cada media hora a la salida de Inversiones Fasulac Ltda.	54
Gráfica 4. Curva de neutralización con adición de NaOH	80

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo de caudal de agua de consumo al día.	44
Ecuación 2. Cálculo de agua residual industrial.	45
Ecuación 3. Expresión para determinar el consumo de agua por concepto de personal permanente.	48
Ecuación 4. Expresión para determinar el consumo de agua por concepto de personal flotante.	48
Ecuación 5. Cálculo de agua residual doméstica.	49
Ecuación 6. Balance general de agua.	49
Ecuación 7. Cálculo de la carga hidráulica superficial.	59
Ecuación 8. Calculo del tiempo de retención hidráulico.	60
Ecuación 9. Volumen de las alícuotas para muestreo compuesto.	67
Ecuación 10. Formula general de disoluciones.	79
Ecuación 11. Determinación del porcentaje de remoción.	84
Ecuación 12. Reacción presente en la determinación de cloruros.	92
Ecuación 13. Expresión para conversión de Normal a partes por millón de cloruros.	92
Ecuación 14. Expresión utilizada para hallar diámetro geométrico.	98
Ecuación 15. Calculo de la esfericidad mediante el uso de diámetro geométrico.	99
Ecuación 16. Calculo de densidad.	100
Ecuación 17. Expresión para el cálculo del diámetro medio de superficie-volumen.	102
Ecuación 18. Calculo de la cantidad de arena necesaria para las cámaras de arena de la empresa.	114
Ecuación 19. Volumen de un cilindro.	115
Ecuación 20. Arena que se desgasta cada vez que se realiza un tratamiento en las aguas residuales de la empresa.	121
Ecuación 21. Calculo mensual de los reactivos que se utilizan en la compañía con tratamiento actual.	122
Ecuación 22. Calculo de la cantidad de detergente necesaria para el lavado de equipos de la planta de tratamiento de agua residual por mes.	125
Ecuación 23. Calculo de tasación de multa	125
Ecuación 24. Relación para el cálculo del beneficio ilícito.	126
Ecuación 25. Relación para determinación de la importancia de la afectación.	127
Ecuación 26. Relación para establecer las unidades monetarias correspondientes a la importancia de la afectación.	127

Ecuación 27. Relación para hallar factor de temporalidad.	128
Ecuación 28. Calculo mensual de los reactivos que se utilizarían con implementación de la propuesta.	131
Ecuación 29. Calculo de la cantidad de detergente necesaria para el lavado de equipos de la PTAR por mes con implementación de mejora.	135

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Criterios para la tasación de sanciones según Resolución 2086 de 2010.	147
Anexo B. Fichas de seguridad de reactivos utilizados actualmente para Tratamiento de aguas residuales y lavados de equipos de producción.	153
Anexo C. Planos actuales de la PTAR.	165
Anexo D. Tabla de datos para curva de neutralización.	167
Anexo E. Análisis fisicoquímico de agua residual cruda realizado Laboratorio Dr. Calderón.	169
Anexo F. Análisis fisicoquímico realizado por laboratorio Analquim Ltda de vertimiento tratado con condiciones actuales de la empresa.	172
Anexo G. Análisis fisicoquímico realizado por laboratorio Asinal Ltda de agua con aplicación de mejora de clarificación.	174
Anexo H. Análisis fisicoquímico por laboratorio Asinal Ltda de agua con aplicación de tratamiento complementario de intercambio iónico.	176
Anexo I. Fichas técnicas de reactivos utilizados en desarrollo experimental.	178
Anexo J. Cotización de reactivos de la propuesta de mejora.	191
Anexo K. Cotización de equipo de la propuesta de mejora.	193

GLOSARIO

AFLUENTE: se le denomina a un líquido o agua residual que ingresa a un proceso de tratamiento.

AFORO VOLUMÉTRICO: “consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo tiempo utilizando una recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño”¹.

AGUA RESIDUAL: “agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria”².

BIODEGRADACIÓN: es la acción de un microorganismo sobre un elemento, ya sea agua, aire o cuerpos de agua o procesos de tratamiento de aguas residuales.

CARGA: “producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día”³.

CLARIFICADOR: es un tanque de sedimentación, el cual puede ser rectangular o circular, permite la remoción de sólidos sedimentables del agua residual.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): “mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios. En general se refiere al oxígeno consumido en 5 días (DBO₅) y se mide en ppm de O₂. Cuando el valor contenido es superior al límite, es indicativo de contaminación”⁴.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): “indica el contenido en materiales orgánicos oxidables contenidas en el agua y también se expresa en ppm de O₂. Las aguas no contaminadas tienen valores de la DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores. Las aguas con valores elevados de DQO, pueden dar lugar a interferencias en ciertos procesos industriales”⁵.

¹MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS. Sección II. (Noviembre, 2000). Dirección de agua potable y saneamiento básico. Bogotá D.C., 2000. Título E.

² Ibíd., p. E.5.

³[Anónimo]Por El Cual Se Reglamenta Parcialmente El Título I De La Ley 09 De 1979, Así Como El Capítulo II Del Título VI - Parte III - Libro II Y El Título III De La Parte III Libro I Del Decreto 2811 De 1974 En Cuanto a Los Usos Del Agua Y Residuos Líquidos. Bogotá D.C., 26, Junio, 1984. Decreto 1594.

⁴ RIGOLA, L. Miguel. Tratamiento De Aguas Residuales: Aguas De Proceso Y Residuales. Tomo 27 ed. Barcelona, España: Marcombo, S.A., 1990. p. 1578426707408

⁵ Ibíd., p. 37.

EFLUENTE: se refiere a descargas líquidas hacia el exterior o a cuerpos de agua superficiales, este puede tener o no tratamiento.

LODO: “suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares”⁶.

LODO BIOLÓGICO: se conoce al lodo sobrante generado de procesos biológicos de aguas residuales.

LODO ACTIVADO: “procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado”⁷.

MUESTRA COMPUESTA: combinación de muestras sencillas o sub muestras, tomadas en un mismo punto durante diferentes periodos de tiempo.

MUESTRA PUNTUAL: llamada también simple, es una muestra de agua residual tomada en cualquier momento para ser analizada.

OXÍGENO DISUELTO: cantidad de oxígeno que esta disuelta en el agua y es esencial para la vida de cuerpos de agua como ríos, lagunas y embalses.

pH: expresa condiciones ácidas, básicas o neutras de una solución, calculado por el número de iones hidrogeno presentes y este influye en los procesos de tratamiento. “Es medido en una escala desde 0 a 14, en donde 7 indica que la sustancia es neutra, valores por debajo de 7 indican que la sustancia es ácida y por encima de 7 indican que la sustancia es básica”⁸.

PLANTA DE TRATAMIENTO: sistema construido para tratar el agua residual, antes de su descarga.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA: “tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.”⁹.

VERTIMIENTO: descarga residual al alcantarillado o a un cuerpo de agua.

⁶ Decreto 1594. Op., cit., p. 2.

⁷ Ibíd., p. 9.

⁸ WHITTEN, Kenneth W., et al. Química General. México: Cengage Learning, 2008. 9789706867

⁹ RAS – Op., cit., p. E.10.

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó el diagnóstico tanto del proceso como del funcionamiento de la PTAR de la empresa, posteriormente se ejecutó el muestreo correspondiente para la caracterización en laboratorio externo y los resultados de los análisis arrojaron el no cumplimiento de la normatividad vigente de los parámetros de grasas y aceites, DBO₅ y DQO, arrojando como resultados valores en el agua cruda de 1 034 ppm, 10 082 ppm y 25 078 ppm respectivamente. Para dar solución a la problemática, se procedió a realizar una revisión bibliográfica con el fin de determinar las alternativas de mejora que se ajustaran a las necesidades de la empresa y lograran la remoción, para así cumplir con la resolución 0631 de 2015.

Una vez seleccionada la alternativa de mejora, se llevó a cabo el desarrollo experimental de la clarificación demostrando una reducción de 96,81%, 89,92% y 68,24% para las grasas y aceites, DBO₅ y DQO respectivamente, estos porcentajes de remoción fueron significativos pero no lo suficiente para obtener un cumplimiento de la normatividad en cuestión, por esta razón se aplicaron procesos complementarios de filtración e intercambio iónico que arrojaron en los análisis fisicoquímicos una remoción satisfactoria obteniendo así valores de concentración de 89 ppm para DBO₅, 358 ppm en el caso de la DQO y de 14 ppm para grasas y aceites.

Por último se realizó un análisis de costos, teniendo en cuenta las condiciones actuales en cuanto a operación de la PTAR y su inminente generación de sanciones monetarias y posibles cierres por el incumplimiento de la normatividad, todo esto contrastado con los costos de inversión y operación que generaría la implementación de la alternativa de mejora.

Palabras clave. Tratamiento de aguas residuales, Industria Láctea, Floculación, Coagulación, Tratamiento terciario, Filtración, Intercambio iónico.

INTRODUCCION

Inversiones Fasulac Ltda. es una empresa Colombiana, ubicada en el sector de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá D.C. Cuenta con 163 empleados al servicio de la empresa; 67 que laboran directamente en las instalaciones y aproximadamente 96 personas de ventas que no permanecen en las instalaciones, su actividad económica está basada en la elaboración industrial de alimentos procesados para consumo humano, específicamente productos lácteos como el kumis y el yogurt.

Siendo esta, una industria láctea se debe tener en cuenta que genera un alto consumo de agua, debido a cada una de las etapas del proceso de producción las cuales son pasteurización y lavado de equipos, esta última incluye a su vez la limpieza y desinfección, fases que tienen un contacto directo con el agua por lo tanto se altera los parámetros, generando contaminación presentando altos niveles de agentes, químicos, físicos y biológicos en el agua a tratar.

En la actualidad existen normas que regulan y ayudan a mantener la calidad del agua antes de ser vertida al alcantarillado, de evadir esas regulaciones se le esperaría a la compañía fuertes sanciones de tipo económico, administrativo y el cierre de la compañía, la importancia de este trabajo de grado nace de la necesidad de crear un mecanismo que ayude a cumplir a la empresa con los requisitos que debe tener el agua residual antes de ser desechado.

Inversiones Fasulac Ltda., busca dar cumplimiento a la normatividad que rige en la actualidad para productos lácteos, este documento tiene como finalidad brindar las características necesarias que debe tener el efluente con respecto a costo, eficiencia y sostenibilidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Inversiones Fasulac Ltda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la planta actual de tratamiento de aguas residuales.
- Seleccionar la alternativa de mejora de acuerdo al diagnóstico.
- Especificar los requerimientos técnicos de la propuesta de mejora.
- Realizar el análisis costo-beneficio de la alternativa seleccionada.

1. GENERALIDADES

1.1 INVERSIONES FASULAC LTDA

Inversiones Fasulac Ltda. fue fundada en el año 1975 como una empresa familiar dedicada a la producción de mantequillas bajo el nombre de Lácteos Superior. En 1988 se constituyó como una sociedad limitada y la gerencia paso a manos de los hijos de la fundadora, cambio su nombre de Lácteos Superior (adoptando este último como marca) al de Inversiones Fasulac Ltda.

Durante todo este tiempo la empresa incursionó en el mercado de los derivados lácteos de una manera artesanal logrando así obtener mayor experiencia en el mercado, esto permitió que en el año 2000 mediante una gran inversión en maquinaria y nueva tecnología la empresa fuese trasladada al barrio de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá a la Carrera 34^a 4b-73 donde funciona hoy en día.

En el transcurso de los años Inversiones Fasulac Ltda. ha desarrollado varios productos de derivados lácteos y de lonchera que tienen gran acogida entre sus clientes, especialmente en los niños, a los cuales están enfocados gran parte del portafolio, actualmente la empresa tiene una producción aproximada de 196.411 litros de Yogurt y Kumis mensuales realizando la distribución de los mismos a diferentes almacenes de cadena en el país.

Figura 1. Ubicación de la planta de producción Inversiones Fasulac Ltda.



1.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La industria alimentaria láctea debe utilizar grandes cantidades de agua requeridas en los procesos de lavado, desinfección y limpieza, estas actividades hacen que las industrias de esta área aporten aguas residuales con grandes cargas de contaminantes orgánicos como proteínas y especialmente por la presencia de lactosa que eleva el valor de la DBO₅¹⁰; independientemente de lo anterior, cada una de las operaciones unitarias necesarias para la obtención de las bebidas lácteas generan un residuo diferente que aporta a la contaminación del vertimiento.

En el siguiente capítulo se describen los conceptos básicos para el desarrollo del proyecto y la problemática de la empresa.

1.2.1 Vertimiento en la industria láctea. Las descargas de los vertimientos líquidos industriales provienen de las actividades productivas desarrolladas en las zonas de producción las cuales contienen contaminantes inorgánicos, orgánicos y/o biológicos, que después de determinado tiempo se pueden descomponer lo cual subyace en la generación de problemas ambientales.

Cabe resaltar que el mayor empleo de agua en este tipo de empresa de producción de lácteos, se presenta en las actividades de aseo y limpieza de áreas y equipos, los métodos que se deben seguir en dicha limpieza son rigurosos y con un protocolo estricto, que al final garantizan condiciones correctas para empezar de nuevo con el proceso de producción. Por lo tanto, los vertimientos industriales se generan en mayor proporción por la actividad de aseo y limpieza de equipos.

Después de llevar a cabo un tratamiento al agua de consumo a nivel industrial, dicho efluente en la mayoría de los casos no alcanza a cumplir con las condiciones óptimas a las que el agua residual debe salir según la normatividad, esto contribuye a la degradación constante del medio receptor.

Por lo tanto se considera que el reto al momento de analizar las aguas residuales en una empresa de lácteos es la disminución de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y de patógenos que afectan la calidad del agua, tal como lo expone Jairo Romero Rojas¹¹, después de eso, se involucra la disminución de la concentración de sustancias inorgánicas refractarias como lo son los detergentes fenoles y pesticidas que pueden estar presentes en trazas de metales pesados y de sustancias inorgánicas disueltas.

¹⁰ WILDBRETT, Gerhard. Métodos De Control De Sustancias Químicas. En: Gerhard Wildbrett. Limpieza Y Desinfección En La Industria Alimentaria. Acribia, 2000. p. 245. ISBN 9788420009131

¹¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuitratamiento Por Lagunas De Estabilización. 2 ed. Bogotá D.C.: Escuela colombiana de ingenierías, 1995a. p. 75

La necesidad de cuidar los cuerpos hídricos circundantes de las áreas industriales ha motivado a que el ministerio de ambiente expida resoluciones, en dirección a la ayuda del medio ambiente como tal, conformado por los seres vivos que habitan dichos cuerpos hídricos y las mismas personas que de una u otra manera se ven afectadas por las condiciones inadecuadas que presentan las aguas residuales cuando no se les hace un tratamiento óptimo.

1.2.2 Características de aguas residuales industriales. Los vertimientos industriales deben su variabilidad a los procesos de los que proceden, y dependiendo de los mismos pueden estar sujetos a composiciones más o menos constantes o definitivamente presentar variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según diferentes factores tanto en el mercado al que suplen como al plan de producción que requiera la empresa que determina el funcionamiento de la misma.

En el **Cuadro 1**, que se muestra a continuación se presentan los componentes principales de las de las aguas residuales industriales.

Cuadro 1. Características de las aguas residuales industriales.

Contaminantes de tipo químico	Contaminantes de tipo físico	Contaminantes de tipo biológico
<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica <ul style="list-style-type: none"> ○ Proteínas ○ Carbohidratos ○ Grasas y aceites • Contenido orgánico <ul style="list-style-type: none"> ○ Demanda bioquímica de oxígeno ○ Demanda química de oxígeno ○ Carbono orgánico total ○ Demanda total de oxígeno • Materia inorgánica <ul style="list-style-type: none"> ○ pH ○ Cloruros ○ Alcalinidad ○ Metales pesados 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Concentración y tipo de sólidos • Olor • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias • Hongos • Algas • Virus

Fuente: TCHOBANOGLOUS, George, et al. Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido Y Reutilización. 3 ra. ed. Madrid: McGraw-Hill, 1995. p. 54-568448116127

1.2.3 Tratamiento de aguas residuales. Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos integrados por las operaciones unitarias llevadas a cabo en dicho tratamiento; estas acciones permiten la remoción, reducción o mitigación de la carga contaminante generada por el rubro industrial.

Dichos tratamientos se encuentran divididos en tres ramas, como se muestra en el **Cuadro 2**, en función de su alcance de limpieza al efluente a tratar, la clasificación en cuestión es: tratamientos primarios o físico-químicos, tratamientos secundarios o biológicos y tratamientos terciarios o avanzados.

Cuadro 2. Clasificación de tratamientos de agua residual.

Tipo de tratamiento	Tratamientos primarios	Tratamientos secundarios	Tratamientos terciarios
Tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Homogenización • Cribado • Neutralización • Coagulación • Floculación • Sedimentación • Flotación 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamientos biológicos • Tratamientos aerobios • Tratamientos anaerobios • Tratamientos mixtos 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de membrana <ul style="list-style-type: none"> ○ Ultrafiltración ○ Microfiltración ○ Osmosis inversa ○ Electrodialisis ○ Pervaporación • Intercambio iónico • Adsorción • Procesos redox • Precipitación química • Arrastre aire/vapor • Incineración • Desinfección
Objetivo a eliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos en suspensión • Coloides • Aceites y grasas • Metales 	Materia orgánica biodegradable	<ul style="list-style-type: none"> • Sales disueltas • Micro contaminante • Afino depuración

Fuente: ANALIZA CALIDAD ASESORES. Tratamiento de aguas residuales industriales. [Electronic (1)]. [Consultado el Julio/282016]. Disponible en: http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf

1.2.3.1 Tratamientos primarios. En esta serie de procedimientos se pretende principalmente la eliminación de todos los sólidos en suspensión del agua residual, los coloides, las grasas y los metales pesados.

- **Homogenización.** Es importante que las características que tiene el vertimiento sean lo más constantes posibles para su posterior tratamiento, este método es empleado precisamente para lograr una retención del efluente en un depósito

para así lograr la uniformidad deseada en cuanto a caudal de entrada a la planta de tratamiento, pH, turbiedad, color, alcalinidad, DBO₅, etc¹².

- **Cribado.** Es el método que se lleva a cabo para lograr reducir los sólidos en suspensión que tiene tamaños variados mediante el uso de mallas o rejillas que permitan su posterior remoción manual o mecánica¹³.
- **Coagulación.** El termino coagulación consiste en la desestabilización de partículas coloidales, esto se logra mediante el uso de coagulantes químicos y además de un mezclado que logre neutralizar las cargas eléctricas de los coloides, cabe aclarar que una sedimentación natural para este tipo de sustancias sería insuficiente, porque los coloides presentes son suspensiones estables.

Un valioso ejemplo que serviría para tratar el tema de coagulación, sería la eliminación de las impurezas orgánicas del agua mediante procesos biológicos (tratamiento secundario), en estos tipos de tratamientos los microorganismos que interactúan con tales impurezas deben ser eliminadas junto con el agua tratada.¹⁴

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floculo son:

- Sulfato de aluminio
- Aluminato de sodio
- Cloruro de aluminio
- Cloruro férrico
- Sulfato férrico
- Sulfato ferroso
- Poli electrolitos

El objetivo de la coagulación es tener un equilibrio muy complejo en el que están implicadas variables como:¹⁵

¹² NEMEROW, Nelson Leonard y DASGUPTA, Avijit. Tratamiento De Vertidos Industriales Y Peligrosos. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 1998. p. 29 ISBN 8479783370

¹³ RAMALHO, Rubens Sette, et al. Tratamiento De Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 2003. p. 58 ISBN 8429179755

¹⁴ WEBER, Walter J. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. 1 ra. ed. Barcelona, España: Reverté, 2003. p. 680-66 ISBN: 9788429175226

¹⁵ Universidad nacional abierta y a distancia. Lección 18: Coagulantes

. [Electronic (1)]. [Consultado el Febrero/22016]. Disponible en: <a href='http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Pot

- pH.
 - Sales disueltas (composición química del agua).
 - Naturaleza de la turbiedad.
 - Tipo de coagulante
 - Temperatura.
 - Condiciones de mezcla.
 - Sistemas de aplicación de los coagulantes.
 - Tipos de mezcla y el color.
- **Mecanismos de la coagulación.**
 - **Comprensión de doble capa.** Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan entre ellas y generan una fuerza de repulsión, esta fuerza está definida en función de las distancias que están separadas y cae rápidamente debido al incremento de iones de carga opuestas al de las partículas.¹⁶
 - **Absorción y neutralización de cargas.** Como su nombre lo indica, este mecanismo de coagulación se basa fundamentalmente en las cargas, es decir, las partículas coloidales presentan cargas positivas en su superficie, estas cargas atraen los iones positivos que se encuentran en el agua formando así, la primera capa adherida al coloide.¹⁷
 - **Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado.** Las partículas coloidales se pueden atrapar dentro de un floc, esto es posible debido a que existe una cantidad importante de coagulante, habitualmente se usa sales como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico. Para acelerar la formación del precipitado es muy importante la presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales.¹⁸

abilizadoras/leccin_18_coagulantes.html'

target='_blank'>http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_18_coagulantes.html

¹⁶ ANDIA CARDENAS, Yolanda. TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN. [Electronic (1)]. Lima, Perú. [Consultado el Agosto/032016]. Disponible en: <a href='http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154'

target='_blank'>http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

¹⁷ Ibid., p. 12.

¹⁸ Ibid., p. 13.

- **Adsorción y puente.** En este proceso se utiliza un polímero aniónico cuando las partículas están cargadas negativamente, así se obtiene un tratamiento más económico, esto es posible porque las moléculas del polímero muy largas contienen ciertos grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula del polímero puede absorber las partículas coloidales en uno de sus extremos dejando a lo largo de este polímero libertad para seguir absorbiendo y así favorecer a la coagulación, de ahí el nombre de “puente”. Sin embargo la suspensión puede re estabilizarse si se adiciona una cantidad exagerada de este polímero.¹⁹
- **Floculación.** La floculación es el proceso siguiente a la coagulación, este proceso consta de la agitación de las partículas coaguladas lo que facilita el crecimiento y la aglomeración de los floculos logrando un aumento en el tamaño y peso de estos, por tal motivo es más sencillo realizar una sedimentación.

Un factor importante para realizar la floculación es la velocidad de agitación, no se debe incurrir a una velocidad alta porque rompería los floculos, y estos no se volverían a juntar con la misma facilidad, si se realiza de manera lenta permite que los floculos se junten.

- **Tipos de floculación.** Existen dos tipos de floculación, la floculación pericinética, que es producido por el movimiento natural de las moléculas del agua e inducido por energía térmica, y también está la floculación orto cinética, este tipo de floculación está basada en las colisiones de las partículas por el movimiento del agua que es inducido por una energía externa de origen mecánico o hidráulico.²⁰

Los floculantes son polímeros de peso molecular amplio, son solubles en agua, y pueden ser de tipo mineral orgánico natural y orgánico de síntesis, esta última se clasifica en aniónicos, neutros o no iónicos y catiónicos esta clasificación depende a la iconicidad de los polímeros.

- **Sedimentación.** En ocasiones la sedimentación es el único proceso en que se somete un agua residual para mejorar sus condiciones, además este proceso se realiza cuando se necesita separar los sólidos suspendidos del agua residual, este procedimiento se logra mediante la diferencia entre el peso específico de las partículas sólidas y el líquido que lo contiene.²¹

Existen tres tipos de mecanismos para la sedimentación estos son:

¹⁹ Ibid., p. 13.

²⁰ Ibid., p. 34.

²¹ RAMALHO. Op. cit., p. 92-93

- **Sedimentación discreta.** La característica de este tipo de sedimentación es que las partículas no cambian sus propiedades durante la caída, uno ejemplo claro sedimentación discreta es la deposición de partículas de arena en los desarenadores.
- **Sedimentación con floculación.** A diferencia que en la sedimentación discreta las características de las partículas floculantes (forma, tamaño y densidad) si cambia durante la caída.²²
- **Sedimentación por zonas.** Este tipo de sedimentación se presenta cuando las partículas forman una capa distinguiéndose una interfase distinta a la de la fase líquida.²³

1.2.3.2 Tratamiento secundario. El tratamiento secundario de aguas residuales hace referencia a todos los procesos biológicos tanto anaerobios como aerobios, un clásico ejemplo para el tratamiento de aguas residuales, es el caso de los lodos activados que si bien se trabaja desde hace aproximadamente un siglo, solo fue al comienzo de los años sesenta que se empezó a utilizar una solución más racional, tal proceso comenzó desde la apreciación de que si cualquier agua residual, ya sea de tipo urbana o industrial, se somete a aireación durante un periodo de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica.²⁴

El método de los lodos activados consiste en almacenar las aguas residuales en un tanque de aireación, donde se hace burbujear aire u oxígeno, desde el fondo con el objetivo de favorecer el crecimiento de bacterias y microorganismos. La mezcla entre los sólidos en suspensión y las bacterias forma un lodo activado que se deja sedimentar y posteriormente degradar. Los lodos activados pueden ser empleados como fertilizante para cultivo o es transportado a un relleno sanitario. Las bacterias son agentes primarios en la conversión de residuos orgánicos en productos finales estables²⁵, por tal motivo es de gran utilidad el empleo de bacterias en el tratamiento de aguas residuales.

Los procesos biológicos se trata en la transformación de la materia contaminante orgánico en biomasa bacteriana, dióxido de carbono y agua, por otro lado los procesos anaerobios los convierte en gas metano y dióxido de carbono.

El tratamiento secundario de las aguas residuales tiene el objetivo de quitar las impurezas donde el tamaño es menor a las que puede captar los procesos de

²² MALDONADO YACTAYO, Víctor. Sedimentación. En: [Anónimo] Tratamiento Del Agua Para Consumo Humano. 1 ra ed. Lima, Perú: Organización panamericana de la salud, 2004. p. 4.

²³ Ibid., p. 16.

²⁴ RAMALHO. Op. cit., p. 103

²⁵ PANTOJA M, José Salvador. Ingeniería Ambiental. 2 da. ed. México: Pretince Hall, 1999. p. 4749701702662

decantación y las rejillas, estos métodos están basados en procesos mecánicos y biológicos combinados²⁶. La eliminación de la carga contaminante en el tratamiento biológico como ya se mencionó antes se consigue, debido a que la materia orgánica presente en el agua residual muchas veces es rica en nutrientes como el nitrógeno (N) y Fosforo (P), esto es necesario, para los microorganismos porque los dos elementos mencionados son fuente de energía y de carbono y ayudan al crecimiento del mismo.

Los filtros percoladores es otro método de tratamiento secundario este consiste en la distribución de las aguas residuales sobre un lecho poroso con una film de microorganismos que actúan como agentes destructores.

1.2.3.3 Tratamiento terciario. Este tipo de tratamiento busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales, con el fin de lograr una mayor calidad de agua antes de ser degradadas al medio ambiente.

La filtración es una técnica de este tipo de tratamiento consiste, en que un efluente entra en contacto con unas membranas quedando las partículas contaminantes retenidas en el interior de estas originando una corriente depurada (permeado).

La osmosis inversa tiene la característica de que el agua es forzada a atravesar una membrana, dejando los sólidos retenidos. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña que prácticamente todos los residuos, bacterias, microorganismos y los virus son separados.

Otra técnica es el intercambio iónico se utiliza en el tratamiento de aguas residuales y consiste en un intercambio de iones entre el agua residual a tratar y unas partículas sólidas llamadas resinas. La condiciones para que el intercambio iónico funcione es que las resinas deben tener iones intercambiables de esa manera interactúa mucho mejor con el agua residual lo común es que todas las resinas tengan tales iones intercambiables. Existen dos tipos de intercambio iónico, el intercambio catiónico y el intercambio aniónico²⁷.

- **Intercambio catiónico.** También llamado intercambio básico, consiste en el desplazamiento de un ion positivo, por otro ion positivo. Algunos ejemplos de cationes que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales son metales y amonio²⁸.

²⁶ RODIE, Edward y Hardenberg. Ingeniería Sanitaria. [Electronic (1)]: México D.F.: Ed Continental S.A., 1987. p. 10

²⁷ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. 2 da. ed. Bogotá D.C.: Escuela colombiana de ingeniería, 2000. p. 355 9588060664.

²⁸ Ibid., p. 355.

- **Intercambio aniónico.** También llamado intercambio ácido, consiste en el desplazamiento de un ion negativo por otro ion negativo²⁹.

Las resinas de intercambio iónico se comercializan comúnmente con las siguientes características³⁰:

- Tamaño de partículas: 0,04 mm y 1,2 mm.
- Porcentaje de enlaces cruzados de divinilbenceno: 5 y 25%
- Densidades relativas: 1,1 a 1,35.
- Densidades de empaque: 600 a 800 mg/L.

La capacidad de un intercambiador iónico puede determinarse mediante la titulación de las resinas con bases, para intercambiadores catiónicos, o con ácidos, para intercambiadores aniónicos³¹.

²⁹ Ibid., p. 355.

³⁰ Ibid., p. 357.

³¹ Ibid., p. 357.

1.3 MARCO LEGAL

En la constitución política de 1991 se realizaron una serie de artículos y se elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales, artículos como el 79 donde menciona que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”, existen de más fragmentos constitucionales en donde es primordial el cuidado del medio ambiente.³² Ahora bien para el caso de la industria láctea entre en vigencia la norma 0631 de 2015, en donde se especifica los parámetros, unidades, y valores límites en que puede encontrarse las aguas residuales de tal industria, antes de ser desechada al alcantarillado público o a algún cuerpo de agua.

Los valores que expresa dicha resolución se aprecian en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Parámetros de la resolución 0631 de 2015 para productos lácteos.

Parámetro	Unidades	Valor
pH	Unidades de pH	6,0 a 9,0
DQO	mg/L O ₂	450,0
DBO ₅	mg/L O ₂	250,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150,0
Sólidos sedimentables	mg/L	2,0
Grasas y aceites	mg/L	20,0
Cloruros	mg/L	500,0
Sulfatos	mg/L	500,0

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por La Cual Se Establecen Los Parámetros Y Valores Límites Máximos Permisibles En Los Vertimientos Puntuales a Cuerpos De Aguas Superficiales Y a Los Sistemas De Alcantarillado Público Y Se Dictan Otras Disposiciones. (17 de Marzo del 2015). Resolución 0631. 2015.

Claramente si se llegase a incumplir con cualquier de los anteriores parámetros, la secretaria de medio ambiente quien es la que tiene el propósito fundamental de fomentar la protección, restauración y conservación de los recursos naturales, deberá realizar una serie de procesos y notificaciones hacia la empresa, para que esta cumpla con las exigencias descritas en la resolución 0631 de 2015.

³² MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por La Cual Se Establecen Los Parámetros Y Valores Límites Máximos Permisibles En Los Vertimientos Puntuales a Cuerpos De Aguas Superficiales Y a Los Sistemas De Alcantarillado Público Y Se Dictan Otras Disposiciones. (17 de Marzo del 2015). Resolución 0631. 2015.

Si definitivamente, la empresa no logra cumplir con los requerimientos ya planteados, en un plazo de gracia considerado dependiendo de las variables fuera de rango, se deberá proceder a una serie de sanciones que van desde multas hasta el cierre temporal o permanente de la compañía; en la **Ley 1333 de 2009** establece el procedimiento sancionatorio ambiental a las compañías infractoras y se detalla con mayor amplitud las justificaciones necesarias para sancionar a las organizaciones involucradas³³. Las sanciones administrativas en materia ambiental tienen funciones preventivas, correctivas y compensatorias, esto con el fin de garantizar la efectividad de los principios de la constitución y demás argumentos legales cuyas prioridades sea el cuidado del medio ambiente. Las sanciones se impondrán de manera parcial o completa a las empresas que vulneren en cualquier medida la estabilidad ambiental de su entorno.

Para conocer como es la metodología de la tasación de multas, el ministerio de ambiente en consecuencia de la ley anteriormente mencionada, expidió la **Resolución 2086 de 2010**, tales procedimientos están basados en criterios como beneficio ilícito, factor de temporalidad, grado de afectación ambiental, circunstancias agravantes y atenuantes, costos asociados y capacidad socioeconómica del infractor³⁴, que son aplicables a ecuaciones matemáticas que permiten encontrar el valor económico a pagar por el incumplimiento de la normatividad vigente (Ver **ANEXO A**).

³³ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por La Cual Se Establece El Procedimiento Sancionatorio Ambiental Y Se Dictan Otras Disposiciones. (21 de Julio de 2009). Ley 1333. 2009.

³⁴ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por El Cual Se Adopta La Metodología Para La Tasación De Multas Consagradas En El Numeral 1º 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.

2. DIAGNÓSTICO

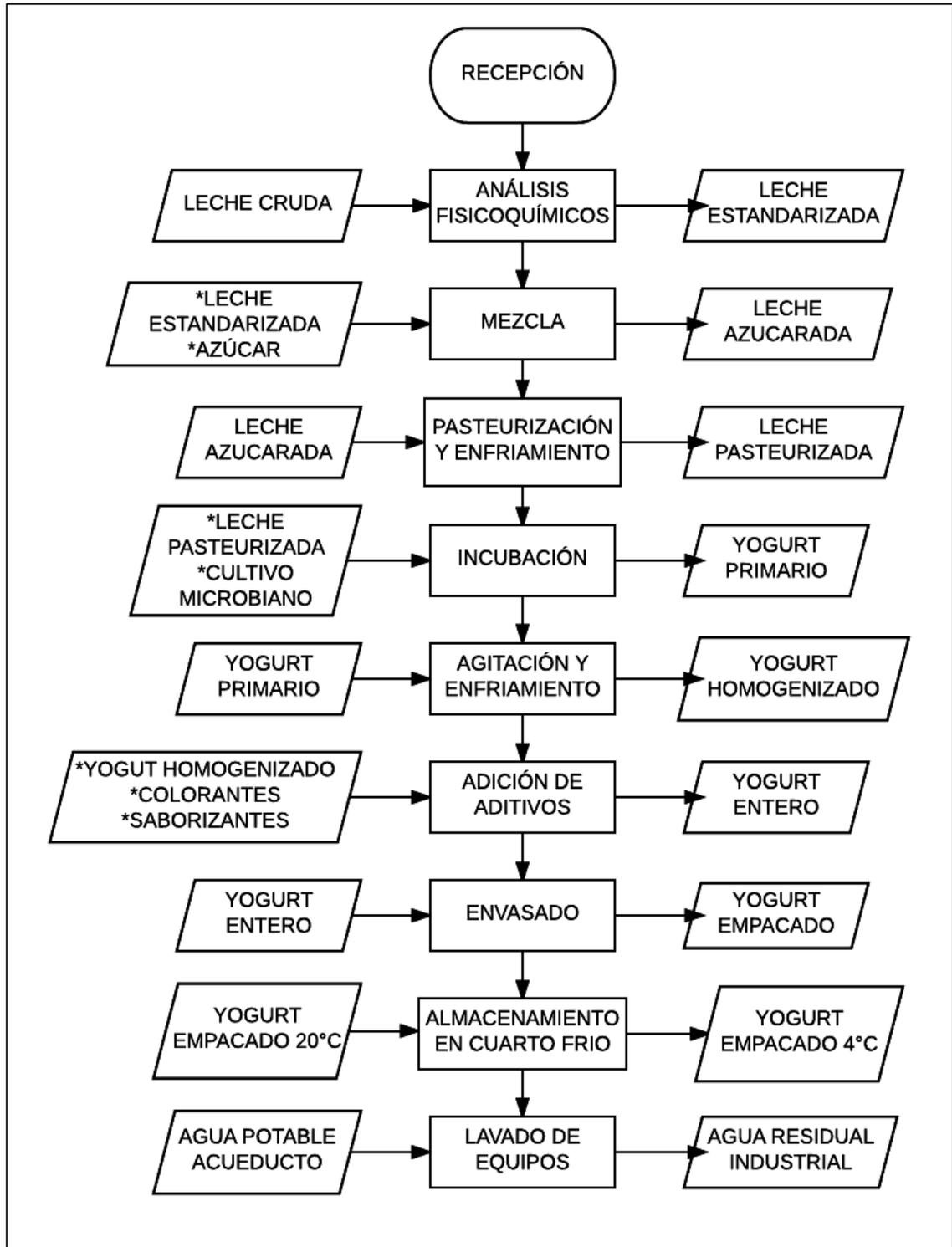
Para llevar a cabo el proyecto de investigación, se realizó un estudio de las características actuales tanto del proceso productivo de la empresa como de la planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en operación, esto con el fin de determinar la cantidad de agua utilizada en las diferentes actividades de la empresa, los contaminantes presentes en el agua del vertimiento y si los niveles de los mismos se encuentran dentro de los parámetros que exige la norma en vigencia, para así tener un punto de partida en el desarrollo del plan de acción de la propuesta de mejora pertinente.

2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Es preciso establecer que los días hábiles y laborados en la empresa son 26 en total, de los cuales, día de por medio, son destinados a producción debido a que esta se realiza en lotes, y por ende los días restantes son dedicados a labores de limpieza de los equipos utilizados.

Dentro del proceso productivo de la empresa en cuestión tienen lugar operaciones unitarias de transformación de la leche en sus derivados, principalmente la fabricación de bebidas de fermentación láctea como el kumis y el yogurt, en sus diversas presentaciones, que incluyen marcas propias y maquilas a terceros.

Figura 2. Diagrama general de operaciones unitarias del proceso productivo.



Fuente: Inversiones Fasulac Ltda.

- **Recepción de la leche.** La leche es transportada en camiones cisterna hasta las instalaciones de la planta donde es almacenada en un tanque de capacidad de 23000 L, y permanece a una temperatura de 4°C, allí se toman muestras para realizar análisis fisicoquímicos (grasa, pH, acidez, temperatura, alcohol, ebullición y antibióticos). El lavado de los camiones cisterna no le corresponde a la empresa ni se realiza en las instalaciones de la misma, el proveedor en cuestión es el encargado de la actividad nombrada. La limpieza del tanque de almacenamiento genera residuos con alta presencia de grasas lo cual aporta carga orgánica, por otro lado los elementos usados en su lavado, como lo son la soda caustica y el ácido nítrico generan otros tipos de contaminantes al vertimiento.
- **Mezcla y pasteurización.** Luego de la recepción, la leche es bombeada a tres tanques con aspas y con capacidad de 7600 L cada uno, allí es adicionada el azúcar para posteriormente elevar la temperatura a 85 °C durante 2 horas, esto con el fin de realizar el proceso de pasteurizado. Llevar a cabo este proceso térmico produce depósitos de proteínas, las cuales quedan adheridas a las paredes y superficies, por este motivo es usado el ácido nítrico y la soda caustica en el proceso de limpieza.
- **Enfriamiento.** En los tanques de pasteurización se baja a 43°C la temperatura en un tiempo de 5 minutos.
- **Incubación y maduración.** Al finalizar la pasteurización y el enfriamiento posterior, la leche azucarada es dirigida a las marmitas, estas cuentan con una capacidad de 5500 L cada una y allí son adicionados los cultivos lácteos para llevar a cabo la inoculación a una temperatura de 43,5°C, después se mantiene una temperatura de 42-45°C durante 3 a 5 horas para el yogurt y 8 a 12 horas para el kumis, hasta llegar a la acidez final. Para mantener la inocuidad del proceso, estos tanques son sometidos a lavado riguroso con ácido nítrico, soda caustica y vapor de agua.
- **Batido y enfriamiento.** Una vez obtenida la acidez deseada, se revisan las propiedades organolépticas y se le da agitación a 25 Hertz, esto con el fin de romper el coagulo y que el producto quede homogéneo. La temperatura requerida al final del enfriamiento es de 20°C (+/- 2).
- **Adición de aditivos.** Al obtener la temperatura deseada, en el caso del yogurt se deben agregar los colorantes y saborizantes, esto es realizado en 8 tanques diferentes que tienen capacidades de que varían entre los 4500 L y 5500 L, la temperatura que se mantiene durante este proceso hasta el momento del empaclado es de 20°C (+/- 2). Los tanques usados para esta parte del proceso, al ser vaciados completamente son lavados de manera rigurosa con abundante agua, jabón y posteriormente con ácido nítrico y soda caustica.

- **Envasado.** Antes de realizar el proceso de empaclado, a las maquinas se le realiza una aspersion con ácido per acético, la empresa cuenta con diferentes presentaciones de sus productos, por lo cual sus máquinas se dividen en: 3 máquinas empacadoras de presentación bolsa, 3 máquinas empacadoras de presentación vaso con foil, y una empacadora de presentación botella y garrafa.
- Al finalizar el proceso de empaclado las maquinas son lavadas con solución de agua y jabón tenso activo y finalmente se les realiza un baño de vapor.

2.1 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se lleva a cabo con el objetivo de establecer el consumo de agua en el proceso productivo y en las áreas de uso doméstico, para posteriormente determinar la cantidad de agua residual industrial vertida al alcantarillado público.

2.1.1 Fuente de suministro y red hidráulica de agua potable. El agua utilizada para todas las actividades del establecimiento tiene como fuente el suministro de la empresa de acueducto de Bogotá, para lo cual la empresa cuenta con una acometida sobre la carrera 34 A, la identificación completa de la fuente es:

Cuadro 3. Información técnica de la cuenta interna de suministro de agua.

Nombre del usuario	INV. FLOREZ LAMPREA
Dirección del predio	KR 34 A # 4B – 73 Loc. Puente Aranda
Cuenta contrato	11090300
Medidor	IBERCONTA No.:01015IB028483
Tipo	VELOCIDAD – VELOO15C
Diámetro medidor	½ pulgada
Fuente de abastecimiento	Agua potable – Empresa de acueducto
Clase de uso	Comercial

Fuente: Inversiones Fasulac Ltda.

La red hidráulica inicia desde la acometida con un diámetro de ½”. El agua ingresa directamente al tanque de almacenamiento de agua potable de la edificación. El suministro de agua de las diferentes áreas y servicios de la fábrica tiene lugar mediante la intervención de unidades de bombeo. El agua es distribuida a todas y cada una de las áreas tanto de las zonas administrativas, como de las zonas de actividad de producción.

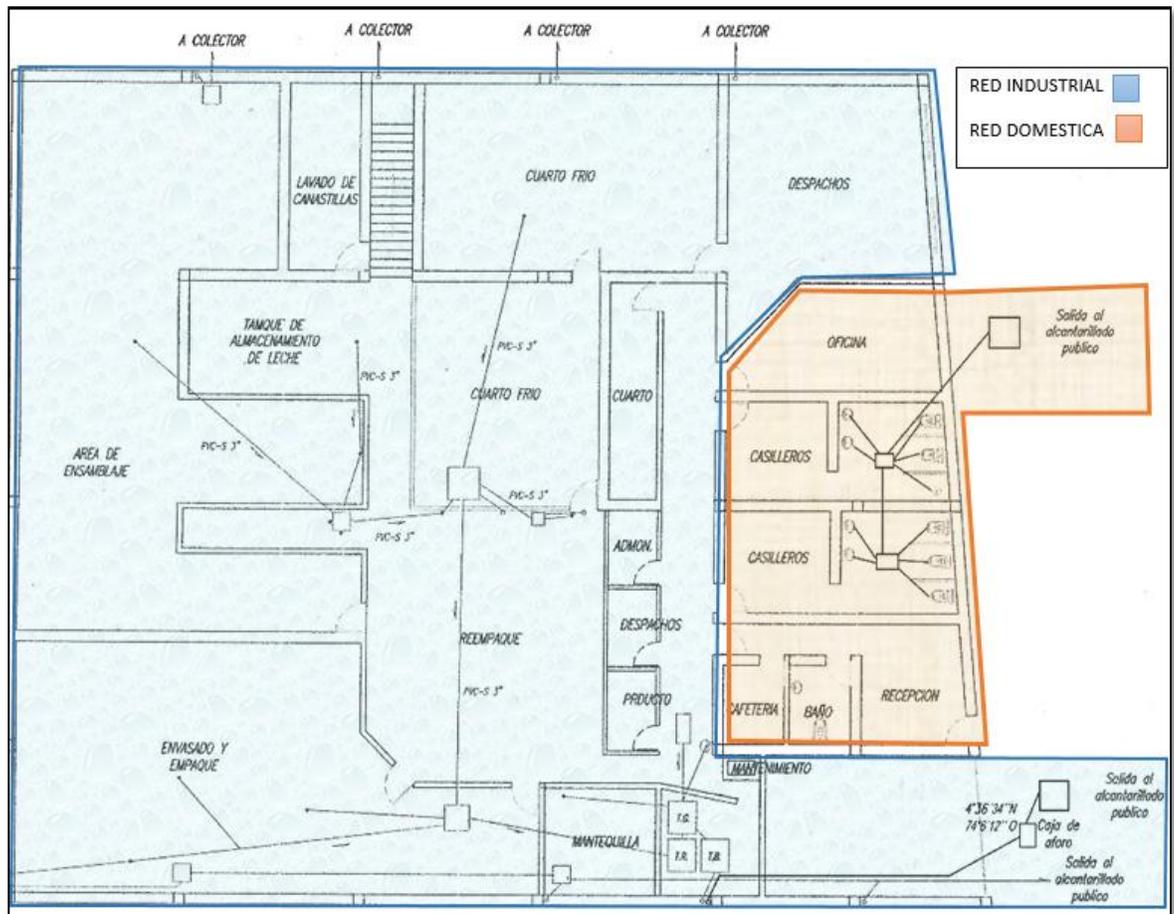
2.1.2 Redes de aguas residuales. Las instalaciones de Inversiones Fasulac Ltda., poseen una red sanitaria independiente para las aguas residuales industriales (A.R.I.) y separada de las redes de aguas residuales domésticas (A.R.D.) y aguas

lluvias (A.LL.). Las descargas de las áreas de producción, que incluyen zona de almacenamiento de leche, áreas de envasado, estandarización y mezcla, pasteurización y cuartos fríos, se recogen luego del paso por las cámaras de control enterradas y son bombeadas como única corriente a la planta de tratamiento de tipo primario fisicoquímico ubicada sobre la terraza de la edificación, para que posterior a su tratamiento, sean evacuadas por flujo a gravedad hacia la red de alcantarillado público sobre la KR - 34 A, previo paso por la caja de aforo , inspección y toma de muestras ubicada sobre el andén del predio. La separación de tuberías y cajas internas permite que dichas aguas no se mezclen con aguas de tipo domestico ni aguas lluvias y por lo tanto, estas redes se encuentran separadas e independientes.

Por otro lado, la red de aguas residuales domesticas son recogidas de diferentes unidades sanitarias de la edificación y descarga también sobre la KR 34 A. Esta red tiene un flujo exclusivo por gravedad y cuenta con tubería sanitaria, al igual que una caja de inspección independiente sobre el andén del predio.

La red de aguas lluvias provenientes de las cubiertas de la edificación descargan por canales y bajantes. Las aguas de escorrentía se unen por línea enterrada y fluyen en dos puntos, uno hacia el frente de la edificación y otro por el costado norte de la bodega y descargan en la red de alcantarillado, la empresa no realiza empleo ni aprovechamiento de las aguas lluvias.

Figura 3. Distribución de red sanitaria de agua residual industrial, aguas lluvias, y agua residual doméstica.



Fuente: Inversiones Fasulac Ltda.

2.1.3 Agua de consumo. Se tomaron los datos de facturación entregados por la empresa de acueducto para las instalaciones de INVERSIONES FASULC LTDA., para el último año entre agosto del 2015 y agosto de 2016, se reporta un valor máximo de consumo bimensual de 153 m³. En la **Tabla 2** se muestran los datos del registro del consumo bimensual.

Tabla 2. Registro de los consumos de agua bimensual en Inversiones Fasulac Ltda. según facturación.

Periodo	Mes	Consumo (m ³)
1	AGO 2015 -OCT 2015	129
2	OCT 2015 -DIC 2015	143
3	DIC 2015 -FEB 2016	153
4	FEB 2016 -ABR 2016	118
5	ABR 2016 -JUN 2016	118
6	JUN 2016 - AGO 2016	119

Fuente: Empresa de acueducto de Bogotá D.C.

Para determinar el caudal de agua requerida promedio por la empresa se adopta un cálculo con los valores máximos alcanzados en un tiempo determinado de un año, este cálculo se realiza para obtener un máximo de agua requerida para los procesos en un día de producción y es mostrado en la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Cálculo de caudal de agua de consumo al día.

$$Q_T = Q_S * F_T$$

Donde:

Q_T = Caudal total de la planta de producción

Q_S = Caudal suministrado por empresa de acueducto

F_T = Factor de conversión de tiempo

La planta presenta un máximo de 153 m³ en el periodo de Diciembre del 2015 a Febrero de 2016, se toma este valor para llevar a cabo el cálculo de agua requerida.

$$Q_T = \frac{153m^3}{2 \text{ meses}} * \frac{2 \text{ meses}}{52 \text{ días}}$$

$$Q_T = 2,94 \frac{m^3}{\text{día}}$$

2.1.4 Agua residual generada. El consumo total de agua se divide en dos usos principales, para actividades industriales y uso doméstico, las cuales generan aguas residuales respectivamente como se muestra a continuación:

- **Agua residual por actividades industriales.** Todas las funciones ejercidas directamente en las actividades de producción generan este vertimiento. El agua se emplea como insumo principal en toda la línea de producción de derivados lácteos de la empresa, cumple dos funciones principales, la primera como fluido de enfriamiento y de refrigeración durante el proceso productivo y en la generación de vapor para satisfacer los requerimientos energéticos demandados, la segunda función, como agente de lavado de la maquinaria y los equipos que entran en contacto con los productos del proceso, toda la red hidráulica industrial lleva el agua al sistema de trampa de grasas para posteriormente ser tratada en la PTAR ubicada en la planta más alta de las instalaciones.

Mediante el caudal promedio establecido por la toma de datos en la caja de aforo exclusiva para la salida de agua residual industrial que sale de la planta de tratamiento, se lleva a cabo el cálculo del agua usada en las actividades industriales como se muestra en la **Ecuación 2**.

Ecuación 2. Cálculo de agua residual industrial.

$$Q_{A.R.I.} = Q_P * F_T$$

Donde:

$Q_{A.R.I.}$ = Caudal de agua residual industrial

Q_P = Caudal promedio

F_T = Factor de conversión de tiempo

Según la toma de caudal, realizada durante un día de lavado de equipos, en una jornada de 8 horas, el caudal promedio obtenido fue de $1,00 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, esta es la cantidad de agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Debe tenerse en cuenta, como fue especificado con anterioridad, que el lavado de equipos se lleva a cabo solo día de por medio en la empresa, por lo cual el volumen de agua residual diario se calculó con un factor de cada 2 días uso de agua en esta actividad.

$$Q_{A.R.I.} = 1,00 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{8 \text{ h}}{2 \text{ día}}$$

$$Q_{A.R.I.} = 1,44 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

- **Agua residual por usos domésticos y administrativos.** El establecimiento cuenta en su zona de producción con seis unidades sanitarias. En total existen seis inodoros y lavamanos.
 - Consumo por personal permanente: consumos de agua ejercidos por el personal y empleados de planta que permanecen dentro de las instalaciones (áreas de producción y áreas administrativas). La empresa cuenta con un total de 163 empleados, de los cuales 67 personas tienen permanencia dentro de las instalaciones, entre los trabajadores directos del área de producción y personal administrativo. De las 96 personas restantes, la mayor parte corresponden a fuerza de ventas quienes permanecen fuera de las instalaciones durante todo su horario laboral, por lo que no ejercen consumo de agua al interior del establecimiento.
Se asume que todo el personal permanente hace uso de las unidades sanitarias del establecimiento en puntos hidráulicos como lavamanos, orinales y sanitarios. La estancia de los trabajadores permanentes es de 8 horas, y la empresa permanece en funcionamiento 26 días al mes.
 - Consumo por personal flotante: aquel que ejercen en menor proporción los contratistas, proveedores, visitantes y/o empleados de ventas que tienen una permanencia parcial y esporádica dentro de las instalaciones. Se estima un total de 10 visitantes externos que diariamente llegan a las instalaciones y hacen uso eventual de los servicios sanitarios, que son sumados a las 20 personas que corresponden a los trabajadores de carácter flotante anteriormente descrito.
El consumo efectuado por cada una de estas personas se obtiene considerando de la misma manera los indicadores de gasto asociados a eventos de descargas de lavamanos e inodoros, asumiendo un evento en el cual, la totalidad de esta población flotante haga uso de estos servicios al interior de las instalaciones una única vez durante el día laboral.
 - Consumo en otros usos administrativos: atribuibles a actividades de mantenimiento general, aseo y limpieza de área distintas a las estrictamente de producción. En esta área se llevan a cabo actividades de cafetería con preparación de bebidas de greca estimando un total de 30 bebidas de greca preparadas en la cafetería por día.

El consumo en usos administrativos (actividades administrativas y/o domesticas) se puede discriminar por los aportes de los consumos asociados al personal permanente del establecimiento, la población flotante y los consumos por actividades domésticas como aseo de pisos, mantenimiento general de áreas y la cafetería. Para este estudio se parte de asignar factores per cápita de consumo³⁵, a partir de los totales estimados de consumo que fueron obtenidos del inventario de personal, el número de horas y días laborados y los servicios y áreas con que cuenta la empresa y sus instalaciones.

Para establecer los consumos por estos dos conceptos se toman los valores típicos de gastos en griferías e inodoros, los tiempos de gasto efectivo y/o las frecuencias normales de uso de cada aparato sanitario.

Un gasto típico para una llave de lavamanos de tecnología convencional es de 3 gal/min, y para un inodoro de bajo consumo es de 1,6 gal/descarga³⁶. Adicionalmente, los tiempos promedio de duración de la llave abierta durante un uso normal son de 20 segundos y se asume para este cálculo particular que un trabajador en la industria alimentaria hace uso del lavamanos cuatro veces al día y del inodoro una vez, durante su tiempo de permanencia temporal en las instalaciones.

Para el indicador de consumo unitario por población flotante, se tienen en cuenta los mismos factores anteriormente expuestos, solo que considerando que se hace uso del inodoro una vez al día durante su visita de carácter temporal y de la misma manera el lavamanos.

Tabla 3. Estimativo de los consumos de agua en dependencia doméstica por individuo –personal permanente.

Factor	Flujo de llave (m ³ /s)	Duración del consumo (s)	Frecuencia de uso (día-persona)	Total de consumo (m ³ /día-p)
Lavamanos	1,89x10 ⁻⁴	20	4	1,51x10 ⁻²
Inodoros	1,01x10 ⁻⁴	-	1	1,01x10 ⁻⁴
Total (m³/día-p)				1,52x10⁻²

³⁵ VICEMINISTERIO DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO (ED.) 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.

³⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Política Nacional De Producción Más Limpia. Bogotá D.C., 2006. 37-8-40.

Tabla 4. Estimativo de los consumos de agua en dependencia doméstica por individuo –personal flotante.

Factor Dependencia	Flujo de llave (m ³ /s)	Duración del consumo (s)	Frecuencia de uso (día-persona)	Total de consumo (m ³ /día-p)
Lavamanos	1,89x10 ⁻⁴	20	1	3,78x10 ⁻³
Inodoros	1,01x10 ⁻⁴	-	1	1,01x10 ⁻⁴
Total (m³/día-p)				3,88x10⁻³

Con estas consideraciones, el factor de consumo para la población permanente se puede asumir como de 1,52 x10⁻² m³/día-persona y de 3,88 x10⁻³ m³/día-persona para la población flotante.

El consumo total mensual de agua asociado a trabajadores y personal permanente se estima mediante la expresión de cálculo siguiente y se indica en metros cúbicos por día.

Ecuación 3. Expresión para determinar el consumo de agua por concepto de personal permanente.

$$Q_{P-P} = N_{P-P} * C_{P-P}$$

Donde:

Q_{P-P}= Caudal de agua por consumo de personal permanente

N_{P-P}= Número de trabajadores permanentes

C_{P-P}= Consumo de agua promedio por personal permanente

$$Q_{P-P} = 67 \text{ trabajadores} * 1,52x10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{día} - \text{trabajador}} = 1,02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

De forma análoga, el consumo total diario de agua asociado a población flotante se estima mediante la siguiente expresión de cálculo y se expresa en metros cúbicos al día.

Ecuación 4. Expresión para determinar el consumo de agua por concepto de personal flotante.

$$Q_{P-F} = N_{P-F} * C_{P-F}$$

Donde:

Q_{P-F} = Caudal de agua por consumo de personal flotante

N_{P-F} = Número de trabajadores de personal flotante

C_{P-F} = Consumo de agua promedio por trabajador de personal flotante

$$Q_{P-F} = 30 \text{ trabajadores} * 3,88 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{día} - \text{trabajador}} = 0,12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Con el consumo de agua por parte del personal permanente y flotante se puede establecer el caudal de agua consumida en usos administrativos como se muestra en la **Ecuación 5**.

Ecuación 5. Cálculo de agua residual doméstica.

$$Q_{A.R.D.} = Q_{P-P} + Q_{P-F}$$

Donde:

$Q_{A.R.D.}$ =Caudal de agua residual domestica

Q_{P-P} = Caudal de agua por consumo de personal permanente

Q_{P-F} = Caudal de agua por consumo de personal flotante

$$Q_{A.R.D.} = 1,02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 0,12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 1,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

2.1.5 Balance general de agua. Según la **Ecuación 6** que corresponde a la ley de conservación de la materia, se puede establecer el balance de agua en la empresa Inversiones Fasulac Ltda. como se muestra a continuación:

Ecuación 6. Balance general de agua.

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

Correspondiente a lo anterior, se establecen a continuación las entradas y salidas respectivamente en la empresa:

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

Donde:

Q_T = Caudal total de la planta de producción

$Q_{A.R.I.}$ = Caudal de agua residual industrial

$Q_{A.R.D.}$ =Caudal de agua residual domestica

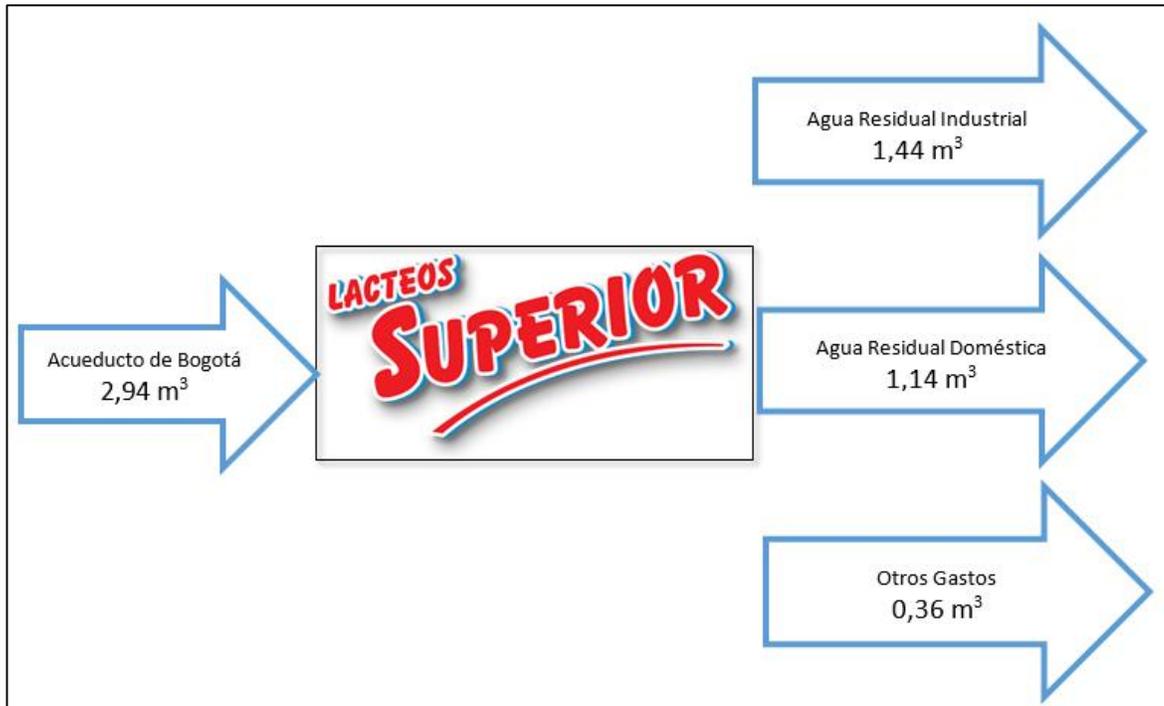
$Q_{O.G.}$ = Caudal de agua en otros gastos

Reemplazando en la **Ecuación 6** los datos obtenidos en los anteriores numerales se tienen que:

$$\begin{aligned} 2,94 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} &= 1,44 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 1,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + Q_{O.G} \\ Q_{O.G} &= 2,94 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} - 1,44 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} - 1,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \\ Q_{O.G} &= 0,36 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \end{aligned}$$

El cálculo anterior muestra que hay una cantidad de 0,36 m³/día de agua usada en actividades no especificadas o que pueden ser producto de posibles derrames o perdidas por factores varios, también se debe tener en cuenta que el consumo de agua para usos domésticos fue calculado de manera estimativa lo cual puede hacer cambiar este valor. De igual forma es importante destacar, que los cálculos fueron realizados con base en un valor máximo de agua suministrada por la empresa de acueducto de Bogotá, por lo que las proporciones encontradas en este desarrollo pueden variar para determinados periodos de tiempo en función del agua suministrada.

Figura 4. Diagrama del balance hídrico en la empresa Inversiones Fasulac Ltda. donde su marca representativa es Lácteos Superior.



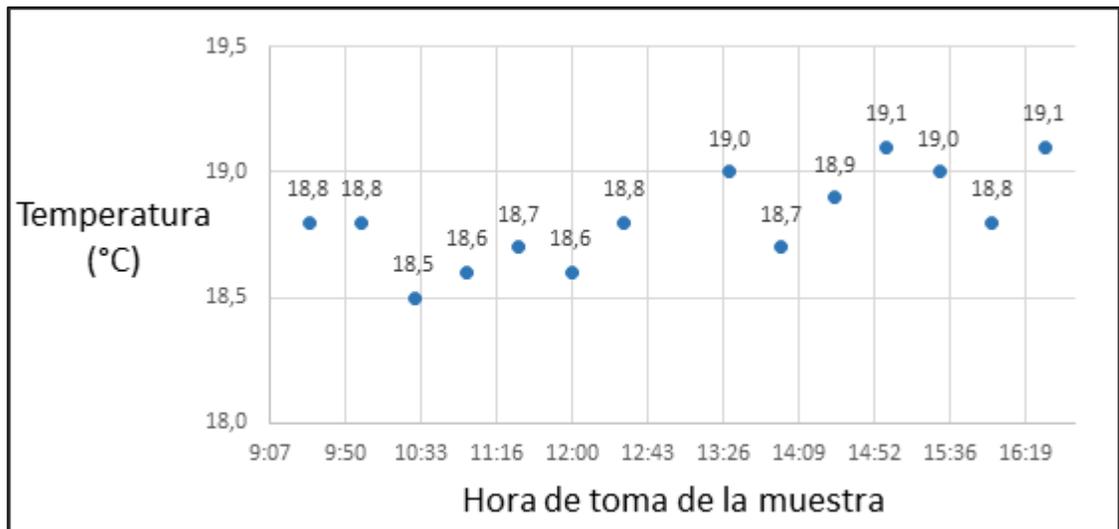
2.2 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Inversiones Fasulac Ltda., basa el mantenimiento de la calidad de sus vertimientos líquidos a través de la implementación de los sistemas de tratamiento preliminar y primario de tipo fisicoquímico. En las unidades de tratamiento preliminar (tanque de recepción, trampa de grasas y tanque de bombeo) se realiza la separación de las fracciones de sólidos suspendidos sedimentables y material flotante como las grasas y los aceites asociados a las aguas de esta industria láctea, mediante una primera separación de fases por sedimentación simple. En las unidades de tratamiento primario de tipo fisicoquímico se realiza la clarificación del agua mediante un proceso de coagulación, floculación, y a pesar de que el equipo está diseñado para un proceso de sedimentación, la empresa recurre a la flotación debido al comportamiento del agua residual luego de ser agregado el coagulante y el floculante, posteriormente se lleva a cabo un proceso de pulimiento por filtración en lecho de arena, esta última unidad mencionada se usa principalmente para la remoción de partículas suspendidas, turbiedad y color, que no logran ser removidas en las etapas previas.

2.2.1 Comportamiento del pH, caudal y temperatura promedio. El día del muestreo para la caracterización del agua residual, se llevó a cabo la medición de los parámetros de pH, caudal y temperatura, en una jornada de 9:30 a 4:30, tomando datos cada treinta minutos.

2.2.1.1 Temperatura. Este parámetro fue medido con un termómetro de mercurio, introduciéndolo en el recipiente donde fue recogida la muestra.

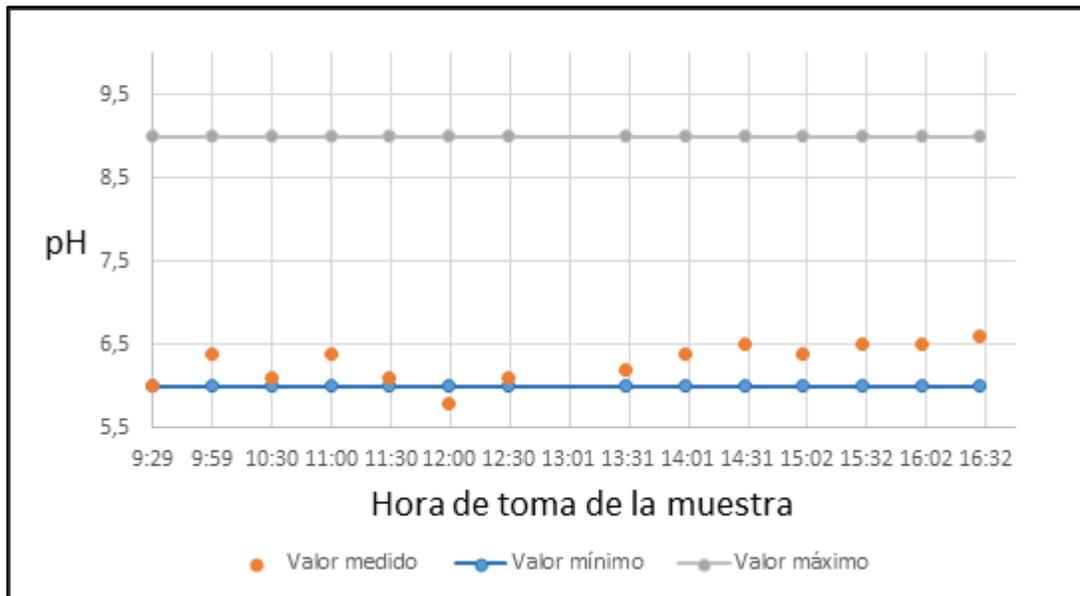
Gráfica 1. Promedio diario de la temperatura registrada cada media hora a la salida de Inversiones Fasulac Ltda.



Como se observa en la **Gráfica 1**, la temperatura promedio demuestra una estabilidad en cuanto a su comportamiento, alcanzado un mínimo de 18,5°C y un máximo de 19,1°C las temperaturas más bajas son registradas en las horas de la mañana mientras que las temperaturas más altas se encuentran en las horas de la tarde.

2.2.1.2 pH. Este parámetro fue registrado con un pH-metro. Y su comportamiento corresponde al mostrado en la **Gráfica 2**.

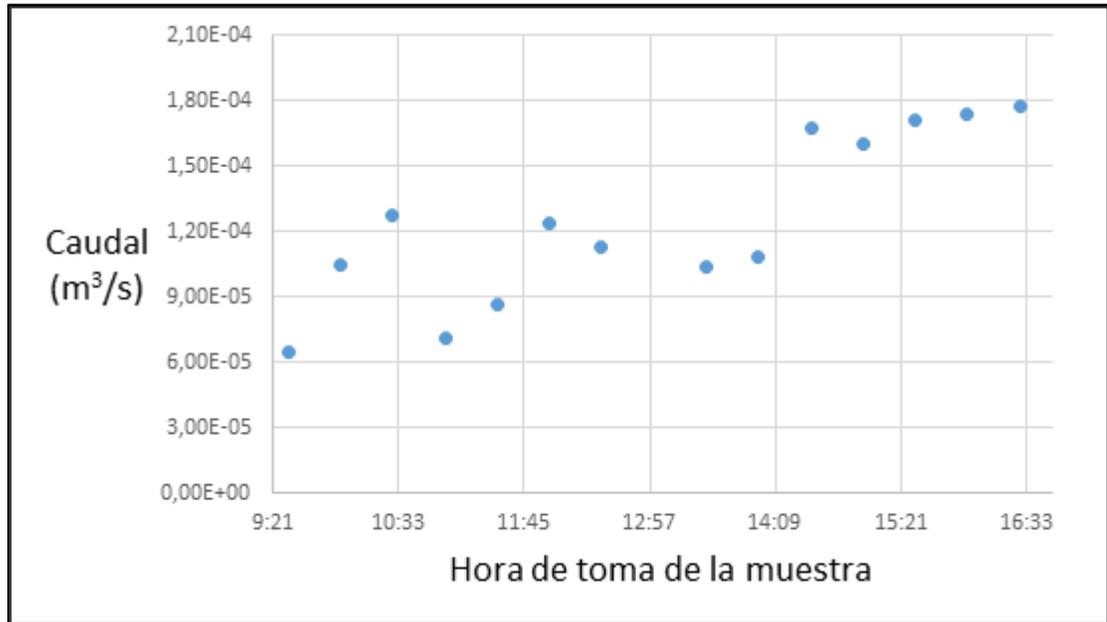
Gráfica 2. Promedio diario del pH registrado cada media hora a la salida de Inversiones Fasulac Ltda.



El pH de la empresa se mantiene estable en valores de aproximadamente 6 unidades como lo muestra la **Gráfica 2**, mostrando un valor máximo de 6,6 y un valor mínimo de 5,8.

2.2.1.3 Caudal. Para la determinación de este parámetro, se recogió el agua a la salida de la empresa en un recipiente y al mismo instante se cronometro el tiempo que gasto el agua en salir en la caja de inspección, luego mediante una probeta aforada de 1 litro (0,001 m³) se midió la cantidad de agua recogida.

Gráfica 3. Promedio diario del caudal registrado cada media hora a la salida de Inversiones Fasulac Ltda.



Como es mostrado en la **Gráfica 3**, el caudal de la empresa aumenta en las horas de la tarde partir de las 2 pm a aproximadamente, teniendo como referencia los valores mínimos y máximos: con $6,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a las 9:30 am y $1,78 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ a las 4:30 pm, respectivamente.

A partir de la información recolectada de los parámetros medidos in-situ, se puede establecer que tanto el pH como la temperatura a la salida de la PTAR tienen un comportamiento estable durante el transcurso del día, por otro lado, el caudal esta presentado variaciones más notables, presentando valores bajos en las horas de la mañana y aumentando su cantidad en las horas de la tarde. Esta variación está ligada al tiempo de retención del agua en las cámaras subterráneas de la trampa de grasas, y de cómo al avanzar el día se presenta una acumulación, la cual se ve reflejada en el aumento del caudal al final de la jornada laboral.

2.2.2 Unidades existentes para el control de calidad de las aguas residuales industriales. En el **Cuadro 4** se muestra la descripción y equipos involucrados en cada uno de los tratamientos que realiza la empresa.

Cuadro 4. Descripción de las unidades para el control de calidad de las aguas residuales industriales.

Tratamiento	Descripción	Equipos
Preliminar	Retención de grasas en fase libre y aceites no emulsionados por flotación simple y retención de sólidos gruesos por sedimentación.	Trampa de grasas de dos cámaras y flujo de gravedad y un tanque de recibo, homogenización e igualación de caudales con capacidad de 4,5m ³ .
Primario	Tratamiento fisicoquímico	Cámaras de tratamiento por coagulación, floculación, sedimentación, flujo continuo.
Pulimiento	Filtración en lecho granular sobre arena sílice.	Filtrador con arena sílice.

2.2.3 Operaciones y procesos unitarios existentes en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Inversiones Fasulac Ltda. El sistema de tratamiento existente en las instalaciones de Inversiones Fasulac Ltda., incluye: remoción de grasas y aceites, igualación/homogenización, neutralización, coagulación, floculación, sedimentación, y filtración. Cabe resaltar que los equipos ubicados en la planta alta de las instalaciones (tanque homogeneizador, tanque clarifloculador y filtro de arena) ya se encontraban instalados antes de que Inversiones Fasulac Ltda. adquiriera la propiedad para su uso, así mismo, se desconoce la actividad económica llevada a cabo con anterioridad en las instalaciones en cuestión, por lo cual se realizó la instalación de las cámaras de retención de grasas, pero los equipos permanecieron sin modificaciones.

En el **Cuadro 5** se puede apreciar tanto la operación unitaria, la fuente de energía y los equipos que están involucrados con el tratamiento de aguas industriales.

Cuadro 5. Sistema de tratamiento fisicoquímico existente para las aguas residuales industriales en Inversiones Fasulac Ltda.

Operación unitaria	Fuente o energía	Equipos o unidades incluidas
Coagulación	Hidráulica	Cámaras de coagulación-flujo continuo.
Floculación	Hidráulica	Cámaras de floculación-flujo continuo.
Sedimentación	Hidráulica-acelerada	Cámaras de coagulación-flujo continuo.
Filtración rápida	Gravedad-alta tasa	Filtros de medio granular y lecho mono copa de arena silíceo, por flujo a gravedad.

2.2.4 Descripción del sistema de tratamiento. La planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en Inversiones Fasulac Ltda., consiste en un tratamiento preliminar y tratamiento primario de tipo fisicoquímico conformado por:

2.2.4.1 Tratamiento preliminar. En este tratamiento se ven involucrados equipos como: tuberías de recolección y conducción de las aguas residuales provenientes del proceso, trampa de grasas y cámara de sedimentación primaria, pozo de bombeo y elevación al sistema de tratamiento fisicoquímico, en la **Figura 5** se muestra la disposición de estas cámaras enterradas con su correspondiente señalización, al igual que el flujo del agua a través de ellas.

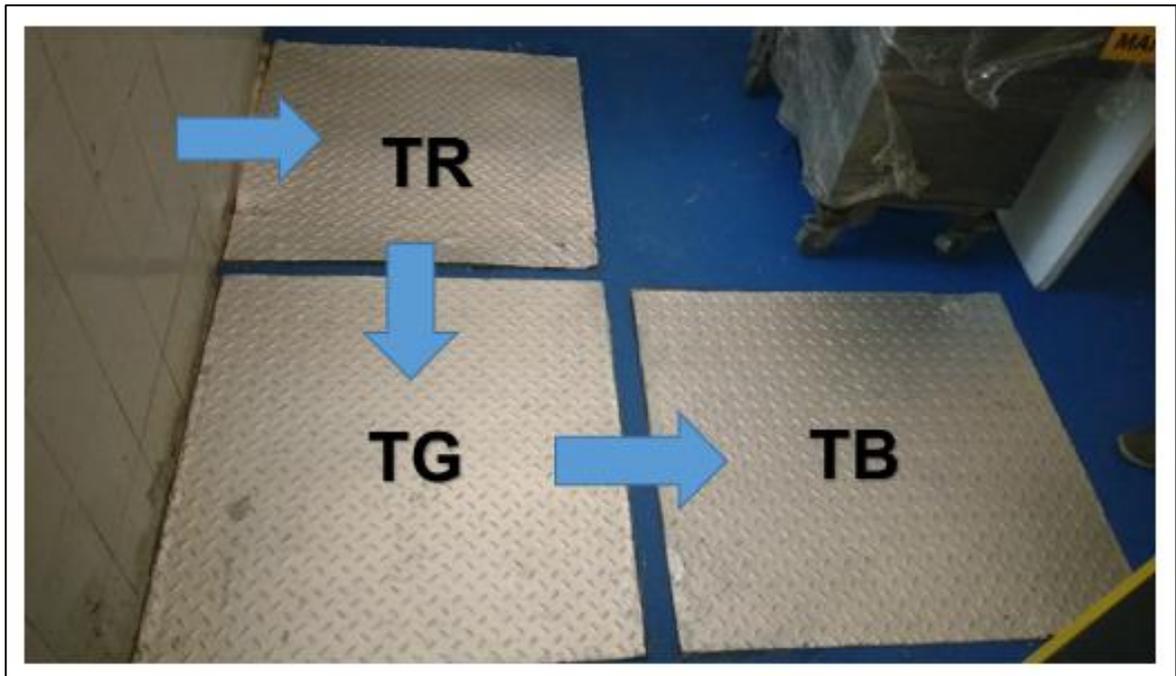
Donde

TR: tanque de recepción y trampa de grasas 1

TG: trampa de grasas 2

TB: pozo de bombeo

Figura 5. Disposición de la trampa de grasas, pozo de bombeo y flujo del agua a través de las cámaras.



Este tratamiento tiene el objetivo de retirar aquellos contaminantes susceptibles de separar mediante gravedad, bien por sedimentación o bien por flotación. Por sedimentación, se remueven los materiales pesados e inertes como las arenas y sólidos gruesos. Adicionalmente por flotación se pueden separar buena parte de los aceites y las grasas asociadas a la leche y sus derivados en las unidades conocidas como trampas de grasas.

- **Trampa de grasas.** Corresponde a una unidad conformada por dos cámaras contiguas de flujo por gravedad. El agua ingresa proveniente de la planta de producción y descarga a través de una tubería de arcilla vitrificada. El paso entre las cámaras es por codo invertido, sistema que permite la retención en la primera de ellas de la mayor parte de las grasas no emulsionadas, así como de otros materiales flotantes asociados a las aguas residuales de la industria. La cámara 1 tiene unas dimensiones iguales a 0,85m x 0,90m x 1,25m mientras que la cámara 2 tiene unas dimensiones iguales a 0,85 m x 0,90m x 1,15m. El paso del agua y la disposición de las cámaras descritas se muestran en la **Figura 6**.

Figura 6. Disposición de la trampa de grasas y flujo de agua a través de ella.



- **Caudal de operación.** El volumen total promedio de aguas residuales procesadas es de 37 m³/mes, operando 26 días efectivos por mes, pero a los cuales el lavado solo corresponde a día de por medio, lo que entrega un caudal promedio diario de 1,44 m³/d, aunque las unidades de tratamiento por

coagulación-floculación-sedimentación, están diseñadas para operar en flujo continuo con caudal de diseño de 20 L/min ($3,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$) y máximo un caudal de 30 L/min ($5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$), del tanque de homogenización son entregados 6 L/min ($1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$), esto se debe a que el gasto de agua no es tan elevado para cumplir con el requerimiento de diseño, lo cual lleva a pensar que la PTAR se encuentra sobredimensionada.

- **Carga hidráulica superficial.** Esto 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 la cámara y el caudal de operación que puede manejar el sistema, de 20 L/min, se obtiene la carga superficial hidráulica como se muestra a continuación:

Ecuación 7. Cálculo de la carga hidráulica superficial.

$$C. H. S = \frac{C_D * F_T}{A_{TG}}$$

Donde:

C.H.S.= Carga hidráulica superficial

C_D = Caudal de diseño expresado en $\text{m}^3/\text{día}$

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

F_C = Factor de conversión

$$C. H. S = \frac{20 \frac{\text{L}}{\text{min}} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right)}{[0,85\text{m} * 0,9\text{m} * (2)]\text{m}^2} = 18,8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}/\text{m}^2}$$

El valor reportado de la carga hidráulica superficial se encuentra conforme con los criterios técnicos que establece el documento REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000, titulo E tratamiento de aguas residuales, donde se indica que se recomienda un área superficial de $0,25 \text{ m}^2$ de trampa de grasas por cada litro por segundo de caudal.³⁷ Para el caso de la unidad existente, se tiene una relación de área

³⁷ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras - 2000 Sección II Titulo E. (28 de Julio del 2000). p. 28. RAS II. Bogotá D.C.,

donde existen más de 4,8 m² por 1 L/s de caudal, valor que permite cumplir satisfactoriamente con los requerimientos técnicos expresados.

- **Tiempo de retención hidráulica.** Para el caudal de operación recomendado de 20 L/min, el tiempo de residencia es de 15 minutos, considerando que las dos cámaras cuentan con un volumen útil de 300 litros.

Ecuación 8. Calculo del tiempo de retención hidráulico.

$$\text{T. R. H.} = \frac{300\text{L}}{20 \text{ L/min}} = 15 \text{ min}$$

Este tiempo cumple con los parámetros establecidos por el documento RAS-2000, para trampas de grasas con caudales inferiores a 9 L/s.³⁸ Este tiempo de retención es lo suficientemente alto permitiendo que todos los sólidos asentables garanticen su separación. El documento RAS-2000 sugiere tiempos de residencia para trampas de grasa de 5 minutos.

- **Pozo de bombeo.** La planta está dotada con un sistema de impulsión por bomba centrífuga sumergible, que eleva el agua residual efluente del tratamiento primario hacia la unidad de igualación y homogenización de caudales. La operación de la bomba es automática gobernada por los ciclos de llenado-vaciado del pozo y que se ajustan con un flotador eléctrico que opera como control solenoide tipo ON-OFF. La tubería de impulsión es en PVC-P y posee una unión universal de apertura rápida que facilita la extracción de la bomba para actividades de limpieza y mantenimiento. La unidad cuenta con un volumen total de 1,2 m³ pero se ajusta a un volumen útil de 4,5 m³ aproximadamente, gracias a la posibilidad de modificar los niveles de encendido y apagado con el flotador.

La cámara del pozo de bombeo cuenta con paredes y piso en baldosín cerámico resistente al ácido láctico que se genera en el manejo de las aguas residuales de la industria láctea, las dimensiones de este pozo son, 0,85m X 0,90m X 1,6m.

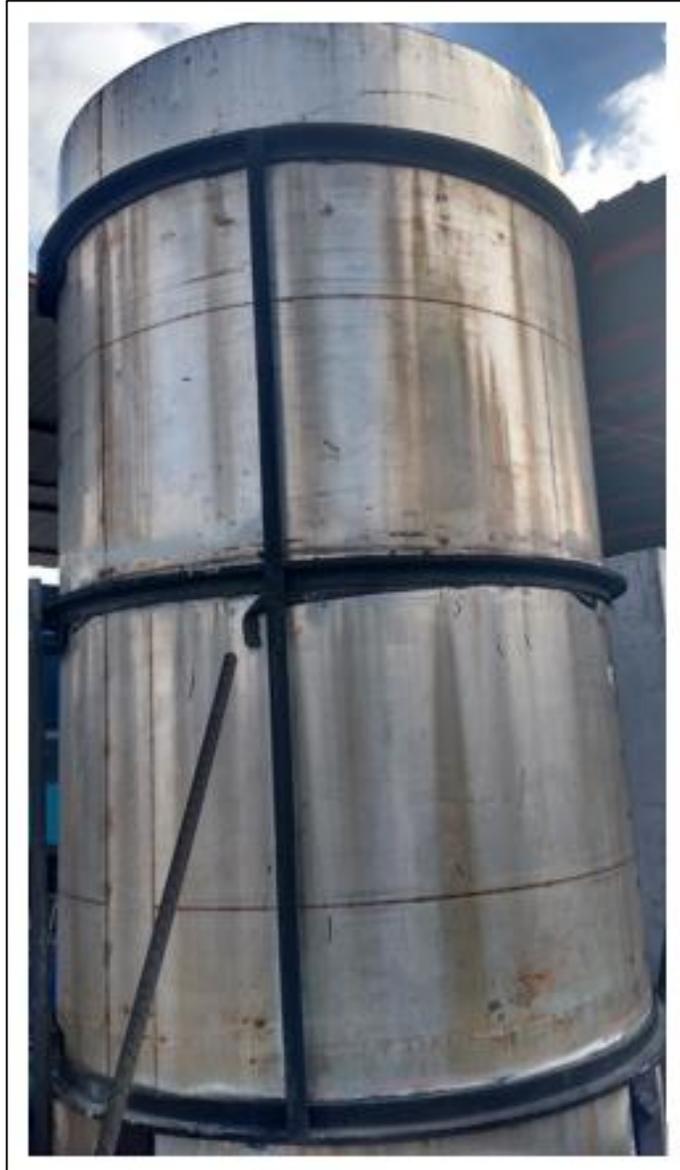
³⁸ *Ibíd.*, p. E.29.

Figura 7. Esquema de entrada del agua desde la trampa de grasas (cámara 2) al pozo del bombeo.



- **Igualación-homogenización.** Operación que es llevada en un tanque de acero inoxidable de disposición vertical situado entre las unidades de retención de grasas y el sistema fisicoquímico propiamente dicho. Esta unidad cuenta con un volumen útil de 4,5 metros cúbicos que permite entregar un tiempo de retención hidráulica de 4 horas, para un caudal promedio de $3,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. La unidad opera bajo el esquema de volumen variable y evacuación por bombeo. El nivel del agua y por consiguiente el tiempo de residencia son ajustables, garantizando un volumen variable dentro del tanque y una rata constante de alimentación al sistema fisicoquímico, condición que es recomendable satisfacer para cuando los esquemas de producción de las industrias son discontinuos como en el caso de la empresa en donde se está realizando el presente proyecto de grado Inversiones Fasulac Ltda. Esta unidad carece de agitación mecánica y alimentación de aire.

Figura 8. Tanque de igualación de caudales, pH y temperatura.



2.2.4.2 Tratamiento fisicoquímico primario. El sistema de tratamiento fisicoquímico primario lo conforma una unidad de clarificación de aguas que incluye las operaciones de coagulación-floculación, sedimentación y filtración. El objetivo de este segundo tratamiento es remover la carga contaminante asociada a sólidos suspendidos no sedimentables y a emulsiones, materias que puedan ser desestabilizadas por mecanismos de neutralización de cargas y posteriormente ser susceptibles de separar por medios físicos como la sedimentación o la flotación.

- **Clarifloculador.** Es la unidad central del tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales industriales de la empresa. Corresponde a un tanque compacto

donde se unifican las operaciones de neutralización, coagulación, floculación y clarificación. Esta unidad se encuentra en disposición superficial y corresponde a un solo tanque metálico fabricado en acero y protección tanto interna como externa de pintura.

Se maneja un coagulador de tipo hidráulico con mezcla rápida en línea (inyección y mezcla en la misma tubería) con ayuda de dos elementos de inserción que operan como dispositivos similares a mezcladores estáticos. La floculación está diseñada también de forma hidráulica y en línea, a través de un serpentín de mezcla en tubería con flujo horizontal y a presión. El sistema cuenta con una cámara de sedimentación acelerada para ubicación de módulos tipo colmena hexagonal o placas planas inclinadas.

El tratamiento se realiza con adición hidróxido de sodio para estabilizar el pH y luego de coagulante inorgánico, que corresponde al sulfato de aluminio, adicionalmente se tiene la posibilidad de realizar la adición de un floculante durante la mezcla lenta, pero dicho floculante dejó de usarse en determinado momento por falta de información de la administración pasada de la referencia del reactivo óptimo. En el sedimentador es retenido la mayor parte de los floculos y los remanentes son separados en los filtros de arena. Para la inyección de reactivos y permitir un tratamiento de flujo continuo, la unidad en su diseño contempla el manejo de dos bombas dosificadoras electromagnéticas con caudal máximo de $4,83 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ cada una, para el suministro de coagulante y el ayudante de floculación, respectivamente.

Figura 9. Tanque de tratamiento fisicoquímico, clarifloculador.



- **Filtro de arena.** El tratamiento se completa con dos cámaras de filtración de lecho de arena. Las unidades son de tasa intermedia entre los filtros rápidos y los filtros lentos, aunque en realidad tienen una operación más ajustada hacia los filtros lentos. El flujo es por gravedad, sin retro lavado y las unidades operan en paralelo. La alimentación del agua de un distribuidor perforado fabricado con niples de PVC de 2" y 1 1/2", respectivamente para cada brazo de alimentación. Las medidas de cada una de las cámaras de arena son 0,70m de ancho, 1,52 m de largo y 0,50 m de profundidad del lecho.

Figura 10. Filtro de arena.



- **Otros componentes de planta.** El sistema cuenta adicionalmente con las siguientes unidades eléctricas y electromagnéticas:
 - Una bomba eléctrica sumergible para alimentación al tanque de igualación-homogenización con control automático de nivel, para encendido y apagado.
 - Una bomba eléctrica centrífuga para alimentación al tanque clarifloculador: Potencia $\frac{1}{2}$ H.P. – 1 A. Marca IHM.
 - Dos bombas dosificadoras eléctricas tipo diafragma para dosificación de reactivos.

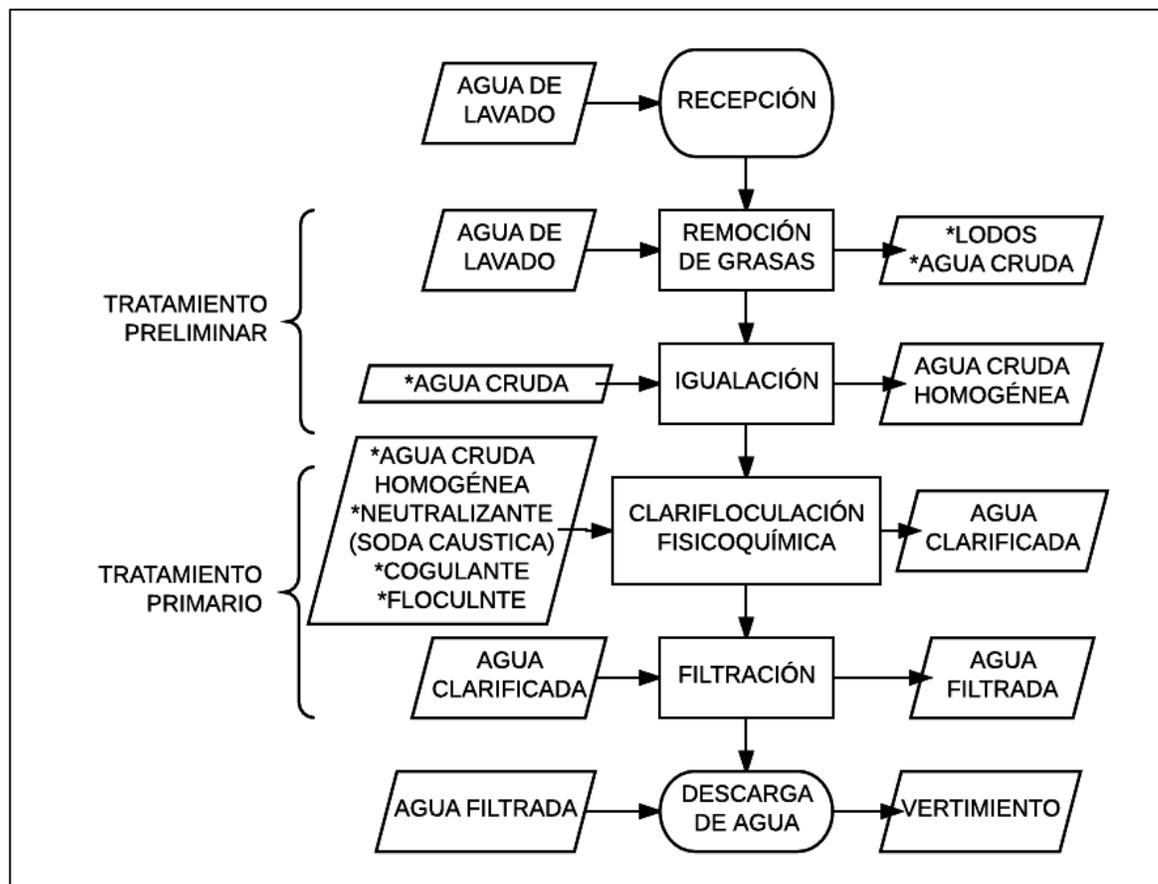
Cuadro 6. Sistema de dosificación de reactivos.

Aplicación:	Bomba dosificadora de coagulante y/o floculante.
Tipo:	Electromagnética de diafragma
Capacidad Máx. dosificación:	4,6 G.P.H. (17L/h)
Marca comercial:	Chemfeed-Ref.: C-66ON
Energía:	110V-60Hz

- Un tablero de control con el sistema de arrancadores y protectores para las unidades electromagnéticas.

La **Figura 11** muestra de manera muy resumida cada uno de los pasos del tratamiento de aguas residuales.

Figura 11. Diagrama de bloques del tratamiento del agua residual industrial realizados en Inversiones Fasulac Ltda.



2.3 REVISION DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE

Después de tener la información del proceso productivo, el balance hídrico y el funcionamiento de la PTAR, es importante conocer las características físicas y químicas del agua cruda y el agua tratada, esto con el fin de determinar si el agua que es descargada como vertimiento al alcantarillado cumple con la normatividad vigente, para el desarrollo de lo anteriormente descrito se procedió de la siguiente manera:

2.3.1 Método de muestreo. Se llevó a cabo un muestreo puntual en el instante donde el agua aun no recibe tratamiento fisicoquímico y el otro muestreo fue compuesto en la caja de aforo, después de realizado el tratamiento fisicoquímico y de pulimiento. Este muestreo fue realizado el día 12 de agosto del 2016 durante una jornada completa de trabajo.

- Muestreo puntual: se realizó antes del tratamiento fisicoquímico, debido a que el agua llega al tanque de homogenización y permanece retenida, esto permite que la muestra sea representativa por la nivelación de parámetros que se presenta en el equipo, y se le aplico la cadena de custodia correspondiente para su traslado al laboratorio externo, el cual realizo los análisis fisicoquímicos respectivos.
- Muestreo compuesto: este muestreo se efectuó en la caja de aforo, en la parte externa de las instalaciones, luego de haberle aplicado el proceso de coagulación, floculación y filtración al agua residual, se realizó bajo el protocolo del IDEAM³⁹ muestro compuesto, tomando el caudal instantáneo de salida, se calculó el volumen de las alícuotas para formar la muestra compuesta necesaria.

Ecuación 9. Volumen de las alícuotas para muestreo compuesto.

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * n}$$

Donde:

V_i =Volumen de cada alícuota o porción de muestra

Q_i =Caudal instantáneo de cada muestra

V =Volumen total a componer

³⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Toma De Muestras De Aguas Residuales. (10 de Septiembre). Bogotá D.C., 2007. TIO 187.

Q_p =Caudal promedio durante el muestreo

n= Número de muestras tomadas

2.3.2 Caracterización del agua residual. Los análisis a la entrada de la PTAR fueron realizados por el laboratorio Dr. Calderón (Ver **ANEXO E**) y los análisis a la salida de la PTAR fueron realizados por la empresa Analquim Ltda. (Ver **ANEXO F**), los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Datos obtenidos de la caracterización del agua residual de la empresa de lácteos Inversiones Fasulac Ltda.

Parámetro	Unidades	Entrada PTAR	Salida PTAR
Temperatura	°C	19,8	16,8-19,5
pH	Unidades	7,80	6,10-7,14
Caudal promedio	L/s	0,100	0,110
Fenoles	mg/L	-	< 0,07
Sulfatos	mg/L SO ₄₋₂	280	-
Cloruros	mg/L Cl-	5,8	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1 903,20	37
Sólidos sedimentables	mg/L-h	0,8	<0,1
DBO ₅	mg/L O ₂	10 082	2 945
DQO	mg/L O ₂	25 078	10 858
Grasas y aceites	mg/L	1 034	35
Tensoactivos aniónicos	mg/L	-	0,36

Fuente: Dr. Calderón S.A. y Analquim Ltda.

En la **Tabla 6** se muestra la comparación de los datos presentados anteriormente con respecto a los establecidos por la normatividad vigente, esto con el fin de verificar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos con los dispuestos en la resolución 0631 del 2015. La empresa Analquim no reportó sulfatos y cloruros dentro de sus análisis, pero como se puede observar a la entrada de la PTAR en la **Tabla 5** estos valores se encuentran dentro de parámetros y el tratamiento en si no es un aporte significativo de dichos parámetros.

Tabla 6. Comparación de los datos del agua tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales con la normatividad vigente.

Parámetro	Unidades	Salida PTAR	Resolución 0631 de 2015	Nivel de cumplimiento
Temperatura	°C	16,8-19,5	Max 40	Cumple
pH	Unidades	6,10-7,14	6-9	Cumple
Caudal promedio	L/s	0,110	N.E.	N.E.
Fenoles	mg/L	< 0,07	N.E.	N.E.

Tabla 6. (Continuación)

Parámetro	Unidades	Salida PTAR	Resolución 0631 de 2015	Nivel de cumplimiento
Sulfatos	mg/L SO ₄₋₂	-	500	Cumple
Cloruros	mg/L Cl ⁻	-	500	Cumple
Sólidos sedimentables	mg/L-h	<0,1	2	Cumple
DBO ₅	mg/L O ₂	2 945	250	No cumple
DQO	mg/L O ₂	10 858	450	No cumple
Grasas y aceites	mg/L	35	20	No cumple
Tensoactivos aniónicos	mg/L	0,36	N.E.	N.E.

2.3.3 Análisis de los parámetros críticos del vertimiento. Como se pudo observar a través del presente capítulo, la empresa se encuentra incumpliendo con 3 parámetros respecto a la normatividad vigente, los cuales influyen de manera importante en un impacto ambiental al ser descargados al alcantarillado sin un correcto tratamiento.

La DBO₅ y la DQO son los parámetros que en las industrias lácteas presentan mayor problemática, debido a que dichas empresas aportan altas cargas orgánicas gracias a su proceso productivo característico, e inorgánicas por los procesos de limpieza que su inocuidad requiere. A pesar de que el proceso de tratamiento de aguas residuales industriales realiza una remoción significativa, no es suficiente para cumplir los valores establecidos en la resolución 0631 del 2015, pues se observó una descarga de 2 948 mg/L en el caso de la DBO₅ y 10 858 mg/L en el caso de la DQO y esto representa una problemática con necesidad de solución pronta.

Por otro lado las grasas y aceites también presentaron valores fuera del máximo requerido por la normatividad, con un valor de 35 mg/L, pero a diferencia de los otros dos parámetros analizados anteriormente, este tiene un proceso de remoción más fácil en general y no representa un problema importante.

A pesar de que se estableció un sobredimensionamiento de los equipos, estos actualmente son funcionales, y debido a que la empresa no cuenta con recursos para hacer una modificación de las unidades existentes en la operación del tratamiento de aguas residuales, se trabajara sobre los equipos ya existentes realizando solo ajustes de dosificación de reactivos y la incursión en el método para mejora de la operación como un adicional al tratamiento.

Es necesario establecer que existen diferentes factores dentro del tratamiento llevado a cabo en la PTAR que contribuyen al incumplimiento de los 3 parámetros analizados previamente.

- A pesar de que la empresa cuenta con un tanque de igualación, este no tiene un sistema de agitación que le ayude a cumplir correctamente su función, por lo tanto, aunque el caudal suministrado al tratamiento fisicoquímico es estable, otros factores como pH y temperatura no se nivelan de manera efectiva lo cual perjudica el proceso.
- El tanque de clarifloculación con el que cuenta la PTAR, está diseñado para llevar a cabo un proceso de coagulación, floculación y posterior sedimentación, sin embargo el tipo de coagulante agregado junto con el polímero de floculación generan que los lodos obtenidos no se sedimenten, si no que al contrario realicen un proceso de flotación, esto perjudica el proceso porque no permite que el equipo realice su función de forma adecuada, y es necesario más trabajo manual por parte del operario encargado para retirar los lodos obtenidos.
- La falta de conocimiento en cuanto a la dosificación de los reactivos involucrados en el proceso de la PTAR, y el desarrollo empírico de la actividad, repercute en una posible sobredosificación.
- Por último, la empresa no cumple 3 de los 9 parámetros que exige la ley. Los más destacados son la DBO_5 y la DQO, por lo que se puede asegurar que las cargas contaminantes vertidas al alcantarillado son altas, generando un grado importante de impacto ambiental.

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INVERSIONES FASULAC LTDA.

En el presente capítulo se realizó el planteamiento de diferentes alternativas de mejora junto con su descripción correspondiente, teniendo en cuenta factores que permitan realizar su aplicación en la empresa de estudio, con el fin de determinar la opción más propicia y llevar a cabo su desarrollo experimental como comprobación de cumplimiento en los parámetros fuera de la normatividad expuestos en el capítulo anterior.

3.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA

Para seleccionar la mejor alternativa, deben considerarse las características específicas del tratamiento actual y de la calidad del agua presentada, por lo tanto es imperativo determinar los parámetros que influyen en el incumplimiento de la normatividad para establecer las acciones correctivas. Cabe resaltar que la alternativa contemplará una unidad adicional para el tratamiento y que las unidades existentes no se modificaran en su diseño, solo se realizarán ajustes operacionales para mejorar su funcionamiento actual, esto debido a que las unidades existentes en la empresa son funcionales y como se ha mencionado con anterioridad presentan un sobredimensionamiento que no afecta a la operación del tratamiento y por razones económicas, la empresa desea incurrir en el menor gasto posible para establecer una alternativa de mejora.

3.1.1 Parámetros representativos a tener en cuenta. Los factores que afectan actualmente el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales son determinados por los parámetros que presentaron niveles por fuera de la normatividad vigente, y estos son expuestos a continuación:

- DBO₅
- DQO
- Grasas y aceites

Los altos niveles de DBO₅ y DQO son generados por la alta carga orgánica característica del proceso de producción de fermentados y por los agentes de limpieza utilizados para la inocuidad de los equipos.

Las grasas y aceites presentados en el agua residual industrial son evidencia de una necesidad de ajuste en la clarificación del agua

3.1.2 Alternativas de mejora. Según la teoría revisada con anterioridad existen diversas maneras de disminuir parámetros como lo son DBO₅, DQO y grasas y

aceites que en este caso son quienes presentan una inconformidad respecto a la normatividad, se eligieron 3 procesos para modificar o complementar el tratamiento de aguas residuales actual y se elegirá por medio de una matriz de selección el más óptimo según diferentes criterios de evaluación.

- **Modificación de la clarificación (coagulación-floculación-sedimentación).** Las grasas y aceites presentes en el efluente del tratamiento no son significativamente altas respecto al valor requerido por la normatividad, por lo que es notable que un proceso de mejora de clarificación es suficiente para su disminución, puesto que la clarificación tiene como objetivo remover los sólidos suspendidos y materiales coloidales, transformándolos en partículas de mayor tamaño que puedan ser retirados con mayor facilidad⁴⁰, por otro lado las concentraciones de DBO₅ y DQO tan elevadas pueden corresponder a la mala dosificación de los reactivos usados en la clarificación o incluso el desconocimiento de los reactivos apropiados para este tipo de agua en específico, porque como se ha mencionado anteriormente, el proceso está diseñado para llevar a cabo una sedimentación y luego de realizar la adición de reactivos actuales se ejecuta una flotación que dificulta el proceso. En este caso no sería necesario una implementación de una nueva unidad de proceso, y el mantenimiento sería similar al manejado actualmente.
- **Lodos activados.** La característica de este tratamiento secundario es que las aguas residuales entran en contacto con un floc biológico, dicho floc, consiste en una masa conformada por microorganismo, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos, estas características le permiten tener una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos⁴¹, la adsorción que se lleva a cabo puede ser explicada como una oxidación biológica en la cual se da una disminución de materia orgánica presente, esto le da una gran capacidad de remoción de los parámetros en cuestión del agua a tratar que son grasas y aceites, DBO₅ y DQO. Este tipo de tratamiento requiere un espacio considerable porque el tanque de aireación requerido para el proceso, debe permitir que los microorganismos alcancen la fase endógena en el momento en que se presente un caudal máximo y una máxima carga orgánica, si este factor no se cumple, se genera una turbiedad alta en el efluente⁴², la instalación de los dos tanques requeridos (aireación y sedimentación) demandan un espacio

⁴⁰ COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. 5 de Octubre. vol. 78, no. 165, p. 3

⁴¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría Y Principios De Diseño. 3 ra. ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p. 421 9588060133

⁴² Ibid., p. 434.

considerable y generarían un costo tanto de implementación como de mantenimiento.

- **Intercambio iónico.** En este tratamiento de tipo terciario, los iones retenidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales con cargas eléctricas, sobre la superficie de un sólido, son intercambiados por iones de carga similar en solución. En otras palabras este tipo de intercambio se trata de un desplazamiento de un ion por otro. En el tratamiento de aguas se consigue un intercambio reversible de iones entre un líquido y un sólido, sin ningún cambio radical en la estructura física del sólido⁴³. Para implementar este sistema de intercambio iónico en la compañía se podría utilizar como complemento a los equipos existentes, es decir, el intercambiador iónico se instalaría inmediatamente después al filtro de arena, para que de esa manera se logre remover la mayor concentración de carga orgánica y carga química posible. El intercambio iónico tiene la facilidad de que se puede trabajar ya sea en flujo continuo o en cochada, además para trabajar la resina se puede utilizar de dos maneras, la primera se trata de una agitación con el agua hasta completar la reacción, luego se extrae la resina por sedimentación, se regenera y se reutiliza; la segunda consiste en colocar la resina en un lecho o reactor y el agua se hace pasar a través de ella⁴⁴. Por lo general este tipo de suavizadores pueden ser regenerados con sal, la vida útil de un intercambiador de tipo catiónico es de aproximadamente 7 años en promedio y de un intercambiador de tipo aniónico es en promedio de 4 años⁴⁵ siempre y cuando se mantengan unos parámetros operativos óptimos.

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para elegir una alternativa óptima y que se adapte a las necesidades de la empresa Inversiones Fasulac Ltda., se establecieron diferentes parámetros de interés para la empresa como lo son la viabilidad técnica, operativa y económica, los cuales fueron sometidos a evaluación mediante una matriz de valores ponderados.

- **Viabilidad técnica.** Dentro de este parámetro se tuvieron en cuenta los requerimientos técnicos y la tecnología necesaria para la implementación de

⁴³ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acupurificación: Diseño De Sistemas De Purificación De Aguas. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. p. 355 ISBN: 9589602738

⁴⁴ *Ibíd.*, p.355.

⁴⁵ W. S., Miller, et al. Understanding Ion-Exchange Resins for Water Treatment Systems. [Electronic (1)]: GE Water & Process Technologies, 2013. p. 7 ISSN:TP1050EN

cada alternativa, las variables a las que se le otorgaron calificaciones fueron las siguientes.

Cuadro 7. Criterios de selección según viabilidad técnica y porcentajes otorgados.

Variable	Descripción	Porcentaje otorgado
Modificación estructural y requerimientos de área	Se refiere a la necesidad de espacio requerida por cada alternativa y la modificación necesaria para su correspondiente implementación, se espera que para la alternativa a seleccionar estos requerimientos sean mínimos, en caso tal tendrá la más alta calificación y de ahí en adelante ira disminuyendo.	9%
Modificación de condiciones de operación	Este criterio se refiere a las necesidades de la alternativa en cuanto a pH, caudal y temperatura para su correcto funcionamiento y que tan distantes son respecto a los parámetros manejados actualmente en el efluente.	8%
Porcentaje de remoción	Se refiere a la remoción teórica de los parámetros críticos, DBO ₅ , DQO, grasas y aceites, con el fin de cumplir con la normatividad vigente.	12%
Tiempo de implementación	Se refiere al tiempo necesario para la implementación y puesta en marcha de la alternativa, se busca que este tiempo sea el menor posible.	6%
Vida útil	Este criterio representa el tiempo total que la empresa puede hacer uso del equipo hasta tener la obligación de realizar su cambio por razones de desgaste por operación normal. Se espera que la cantidad de tiempo de vida útil sea la mayor posible.	5%

- **Viabilidad operativa.** En este parámetro se tuvo en cuenta el factor concerniente al recurso humano, el cual es imperativo para llevar a cabo el correcto funcionamiento del sistema, las variables calificadas fueron las siguientes.

Cuadro 8. Criterios de selección según viabilidad operativa y porcentajes otorgados.

Variable	Descripción	Porcentaje otorgado
Capacitación del personal	Este criterio representa la necesidad de instruir al personal encargado en el correcto funcionamiento de la alternativa seleccionada y se espera que sea lo menos dispendioso posible.	3%
Tiempo de operación	Esta variable está enfocada a la cantidad de tiempo necesaria para que la alternativa seleccionada lleve a cabo su funcionamiento y se pretende que este tiempo no sea prolongado.	2%
Facilidad operativa	Este criterio se refiere al ofrecimiento de la relativa sencillez en el manejo del sistema a implementar para su correcto funcionamiento y se espera precisamente que su operación no brinde inconvenientes.	5%

- **Viabilidad económica.** Este parámetro está relacionado con elegir la alternativa que represente un gasto económico reducido cumpliendo los requerimientos especificados con anterioridad de la mejor manera, dentro de este parámetro se tuvo en cuenta los siguientes criterios.

Cuadro 9. Criterios de selección según viabilidad técnica y porcentajes otorgados.

Variable	Descripción	Porcentaje otorgado
Costo de implementación	Esta variable está dirigida al costo implicado en la adquisición de equipos adicionales y reactivos necesarios para poner en marcha la alternativa más óptima y se espera que dicha alternativa cuente con gastos bajos sin afectar la calidad del tratamiento.	15%
Costo de mantenimiento	Este criterio se refiere a los gastos implícitos en el proceso de mantenimiento de los equipos involucrados en cada una de las alternativas.	20%
Costo de operación	Este factor está referido al coste de los insumos y el pago al personal necesarios para llevar a cabo la operación descrita.	15%

3.3 METODOLOGIA DE MATRIZ DE SELECCIÓN

De acuerdo a cada una de las variables, se le otorgó una calificación de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja y 5 la calificación más alta, según lo muestra la **Tabla 7**, dependiendo de su capacidad de cumplimiento con el parámetro para luego aplicarle la ponderación correspondiente.

Tabla 7. Calificación para evaluar las alternativas de mejora propuestas.

Nivel	Rango de calificación
Poco aplicable	1-2
Aplicable	3-4
Muy aplicable	5

La **Tabla 8** muestra la matriz de selección de la alternativa más óptima, la cual se realizó con acompañamiento técnico de la empresa.

Tabla 8. Matriz de selección de la alternativa de mejora.

Parámetro	Porcentaje	Alternativa 1 (Modificación de clarificación)	Alternativa 2 (Lodos activados)	Alternativa 3 (Intercambio iónico)
Viabilidad técnica				
Modificación estructural y requerimientos de área	9%	4,5	3,1	4,5
Modificación de condiciones de operación	8%	4,5	3,7	4,3
Porcentaje de Remoción	12%	3,3	4,5	4,8
Tiempo de implementación	6%	4,3	3,8	4,0
Vida útil	5%	4,0	3,5	3,8
Total viabilidad técnica	40%	1,6	1,5	1,8
Viabilidad Operativa				
Capacitación del personal	3%	4,3	3,2	4,2
Tiempo de operación	2%	4,4	3,1	4,3
Facilidad Operativa	5%	4,5	3,5	4,3
Total viabilidad operativa	10%	0,4	0,3	0,4
Viabilidad Económica				
Costos de implementación	15%	4,4	3,4	3,7
Costos de mantenimiento	15%	4,3	3,3	3,9
Costos de operación (personal, insumos)	20%	4,2	3,5	3,8
Total viabilidad económica	50%	2,1	1,7	1,9
TOTAL	100%	4,21	3,56	4,08

La **Tabla 8** permitió establecer que la mejor alternativa para llevar a cabo una evaluación en la disminución de parámetros críticos es la modificación de la clarificación, luego de obtener un puntaje de 4,21.

El parámetro de viabilidad técnica de la modificación de la clarificación presento un puntaje menor al de la alternativa de establecer un intercambiador iónico, porque su porcentaje de remoción no es tan alto, pero en términos generales es una buena alternativa debido a que no es necesario realizar cambios estructurales y por lo tanto no es requerida área adicional, también es viable puesto que los cambios operacionales son pocos y por lo tanto el tiempo de implementación será corto en comparación a las otras propuestas.

En cuanto a la viabilidad operativa, se puede establecer que el personal no necesita de una capacitación extensa y su manejo es simple en cuanto se mantengan las condiciones de operación estables y se realice un buen control de las mismas, por otro lado, su tiempo de operación es similar al manejado actualmente por lo cual no presenta inconvenientes.

Respecto a la viabilidad económica, es evidente que la modificación de la clarificación tiene una mejor calificación, debido a que su implementación y operación dependerá en gran medida del cambio de los reactivos usados y la mejora en la capacitación del personal encargado para que el proceso se lleve con resultados satisfactorios, pero, al no ser necesarias nuevas unidades de proceso los costos de implementación y mantenimiento no son significativos, como si pueden llegar a ser en las otras alternativas.

El intercambio iónico recibió calificaciones similares a las de la modificación de la clarificación, por lo cual puede tenerse en cuenta como complemento en caso de no obtener resultados favorables en la evaluación de la alternativa seleccionada.

4. DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA A NIVEL LABORATORIO

Para lograr llevar a cabo la modificación de la clarificación, se deben tener en cuenta las especificaciones de condiciones de operación, los valores que deben adquirir las variables a analizar, los tipos de reactivos a usar para dicha modificación y sus respectivas dosificaciones, para esto a continuación se presentan la información pertinente.

4.1 NEUTRALIZACIÓN

Entre las condiciones de operación más importantes se encuentra la estabilización del pH para lograr un mejor funcionamiento de los coagulantes y floculantes a evaluar. Los niveles de pH con los que regularmente el agua residual industrial sale del proceso productivo son ácidos y la mayoría de reactivos necesarios para la coagulación y floculación trabajan de manera óptima en unidades de pH básicos. Actualmente la empresa realiza la neutralización del agua residual con hidróxido de sodio, pero no tienen establecida la cantidad necesaria de neutralizante a utilizar con base en el pH presentado por el efluente y se realiza de un forma empírica por el operario encargado, por esta razón se realizó la curva de neutralización.

Para realizar la curva, se tomó una muestra compuesta de 1 litro de agua residual cruda a la salida del tanque homogeneizador, donde la composición es representativa y no se ha realizado ninguna alteración química de la misma.

A la muestra de 1 litro se le midieron las condiciones iniciales de pH arrojando un valor de 4,16 unidades, posteriormente se preparó una solución de hidróxido de sodio al 2% equivalente a 20 000 ppm que fue agregada paulatinamente de a 0,5 mL y se fue midiendo el pH en cada adición, lo cual arrojó los resultados necesarios para desarrollar la curva de neutralización (Ver **ANEXO D**).

Para determinar la concentración en ppm y establecer el comportamiento de la curva de neutralización se utilizó la relación mostrada en la **Ecuación 10**.

Ecuación 10. Formula general de diluciones.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 = Concentración desconocida

V_1 =Volumen de agua a neutralizar

C_2 =Concentración del neutralizante utilizado

V_2 =Volumen adicionado de neutralizante para estabilizar pH

Para el caso trabajado en el laboratorio

C_1 = Concentración desconocida de NaOH adicionado

V_1 = 1 000 mL

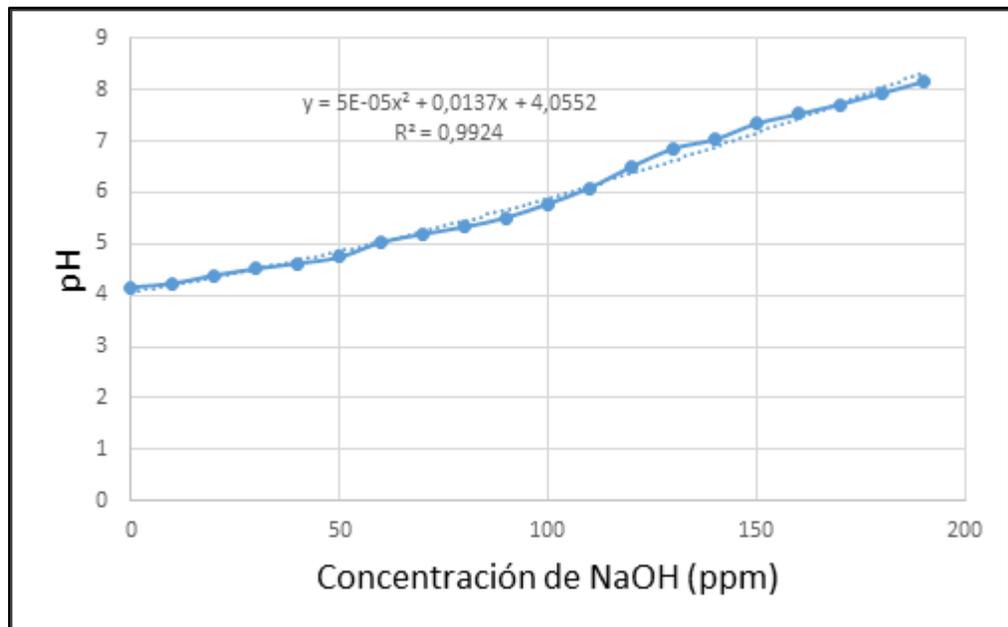
C_2 = 20 000 ppm

V_2 =Volumen adicionado de neutralizante para estabilizar pH

Luego de realizar el proceso indicado, se logró establecer que la cantidad necesaria para neutralizar el pH de 1 litro de agua cruda es de 11 mL, lo cual corresponde a una concentración de 220 ppm al cual se obtuvo un pH de 9,11.

La **Gráfica 4** muestra el comportamiento de la curva de neutralización.

Gráfica 4. Curva de neutralización con adición de NaOH



4.2 CLARIFICACIÓN

Luego de establecer las cantidades óptimas para estabilizar el pH, se procedió a realizar la clarificación, la cual consta de la coagulación, floculación y sedimentación, esto mediante un test de jarras, el cual se destaca por ser un ensayo

a nivel laboratorio para determinar las dosis más efectivas de floculante y coagulante en el desarrollo del tratamiento del agua residual.

4.2.1 Descripción de reactivos a usar para clarificación. Para el proceso de test de jarras son necesarios diferentes reactivos que permitan la coagulación y floculación de forma óptima, por tal razón a continuación se presentan las características de los diferentes productos usados en la práctica de laboratorio los cuales fueron adquiridos de la empresa LIPESA S.A., la cual se dedica a la comercialización de una gama amplia de productos usados en el tratamiento de aguas residuales, sus fichas técnicas correspondientes son mostradas en el **ANEXO I**.

- **Coagulantes.** Este tipo de sustancias son reactivos que en solución le aportan al coloide presente en el agua residual una carga eléctrica contraria para lograr así su desestabilización. En el **Cuadro 10** se presenta la descripción de cada uno de los coagulantes usados en la práctica de laboratorio correspondiente al test de jarras.

Cuadro 10. Descripción de coagulantes usados en la clarificación.

Producto	Descripción
Policloruro de aluminio (L-AC005)	Tiene un amplio rango de pH (5 a 10), y de temperatura para su aplicación, posee un fuerte poder de coagulación como también una rápida de velocidad en el mismo ámbito, tiene un alto rendimiento en aguas con gran carga contaminante mediante la remoción de sólidos en suspensión, DQO y DBO ₅ , dentro de sus usos comunes se encuentra el tratamiento de aguas potables y residuales municipales e industriales, esta referencia se encuentra en presentación líquida, es de un color ámbar claro, y es inodoro.
Cloruro Férrico (L-AC011)	Por lo general presenta buen rendimiento y algunas veces no necesita de floculante como ayuda, tiene un bajo costo y una alta velocidad de coagulación y no presenta aluminio residual. Por otro lado para su funcionamiento se necesitan mayores cantidades lo que genera coloración amarillenta y turbia en el agua tratada, por dichas razones requiere un diseño de proceso mejor que otros coagulantes.

Cuadro 10. (Continuación)

Producto	Descripción
Sulfato de aluminio Tipo A	Tiene un costo bajo por lo cual su disponibilidad es alta, forma un coagulo blanco casi invisible y es el más usado en el tratamiento de aguas residuales. La empresa actualmente lo utiliza, pero no tiene claridad de las dosificaciones requeridas para el agua a tratar y los operarios realizan su adición de forma empírica, por lo general requiere de ayuda de un floculante y el rango de pH al que trabaja no es muy amplio

- **Floculantes.** Los floculantes son las sustancias usadas para unir las partículas desestabilizadas y lograr la formación de grandes partículas aglomeradas que por peso flotan o sedimentan. En el **Cuadro 11** se presenta la descripción de cada uno de los floculantes usados en la experimentación correspondiente a la clarificación.

Cuadro 11. Descripción de los floculantes usados en la clarificación.

Producto (Referencia de proveedor)	Descripción
L-1538	Es un polímero solido con una carga aniónica elevada y con un alto peso molecular blanco e inodoro que actúa con la adición de bajas concentraciones y a un rango de pH muy amplio (1 a 12)
L-1547M	Es un polímero solido con una carga aniónica baja de alto peso molecular blanco e inodoro que actúa con la adición de bajas concentraciones y a un rango de pH amplio, puede ser usado en diferentes tipos de aguas residuales.
L-1550 A	Es un polímero solido no iónico de alto peso molecular blanco e inodoro que actúa con la adición de bajas concentraciones y a un rango de pH más reducido que el de los otros polímeros (5 a 8), puede ser usado en diferentes tipos de aguas residuales y efluentes.
L-1564	Es un polímero solido con una carga catiónica alta de alto peso molecular blanco e inodoro que actúa con la adición de bajas concentraciones y a un rango de pH amplio (1 a 13), puede ser usado en diferentes tipos de aguas residuales.

4.2.2 Test de jarras. Para el desarrollo de los ensayos de test de jarras se realizó un muestreo compuesto a la salida del tanque homogeneizador, completando un volumen de 22L en una garrafa de polietileno de alta densidad. Como condiciones iniciales se midieron el pH y la turbidez obteniendo valores de 4,16 unidades de pH y 3 180 unidades nefelométricas de turbidez.

Dentro del ensayo de jarras existen variables importantes a tener en cuenta para la efectividad del proceso, entre ellas están los tiempo de agitación, el tiempo de sedimentación y las velocidades de agitación, para establecer dichas condiciones de operación se realizó una revisión bibliográfica en un trabajo de grado⁴⁶ con similitudes en cuanto al tipo de proceso productivo para tener una idea de los valores a usar en el ensayo de laboratorio.

Tabla 9. Condiciones de operación fijas para el test de jarras

	Parámetro	Valor
Mezcla rápida	Velocidad de agitación	150 rpm
	Tiempo de agitación	1 min
Mezcla lenta	Velocidad de agitación	20 rpm
	Tiempo de agitación	5 min
Sedimentación	Tiempo de sedimentación	5 min

Fuente: BARÓN QUEVEDO, Christian Giovanni. Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Productos Lácteos Pasco. Bogotá D. C.: Fundación Universidad de América, 2013. p. 65

Luego de establecer las variables necesarias para llevar a cabo los ensayos se midieron los parámetros iniciales del agua cruda para luego así determinar el rendimiento de cada uno de los reactivos aplicados mediante la medición del porcentaje de remoción.

Tabla 10. Parámetros iniciales del agua

Parámetro	Valor
pH	9,11
Turbidez (NTU)	3 180
Solidos suspendidos totales (ppm)	1 905
Temperatura (°C)	22°C

⁴⁶ BARÓN QUEVEDO, Christian Giovanni. Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Productos Lácteos Pasco. Bogotá D. C.: Fundación Universidad de América, 2013. p. 65

Para establecer el porcentaje de remoción de turbidez se utilizó la **Ecuación 11** mostrada a continuación.

Ecuación 11. Determinación del porcentaje de remoción.

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{\text{Variable inicial} - \text{Variable final}}{\text{Variable inicial}} \right) * 100$$

En cuanto al modo de uso de los reactivos, fue necesario preparar soluciones porque tanto los coagulantes como los floculantes se encontraban en estado puro, por lo tanto a continuación se muestra su preparación.

- **Preparación de Coagulantes.** Se estableció una concentración de 10% (equivalente a 100 000 ppm), para cada uno de estos reactivos, por lo cual, en el caso del Policloruro de aluminio y el del cloruro férrico que se encuentran en presentación líquida, se midieron 20 mL en un beaker y se completó un volumen de 200 mL y para el caso del sulfato de aluminio, que se tomó de la empresa y se encuentra en estado sólido, se agregaron 20 g y de manera análoga se completó el volumen de 200 mL. Las soluciones pueden verse en la **Figura 12**.

Figura 12. Coagulantes preparados al 10%.



- **Preparación de floculantes.** En cuanto a los floculantes, se estableció una concentración de 0,1% (equivalente a 1 000 ppm) y como todos se encontraban en presentación sólida, se realizó el mismo procedimiento para cada uno de ellos, este proceso consto de medir 0,5 g de cada floculante, aparte se tomaron 4 beaker y se les adiciono 500 mL de agua a cada uno, esto con el fin de ser colocados en el equipo de jarras, accionarlo a 100 rpm y adicionar lentamente

cada uno de los coagulantes pesados con anterioridad, el tiempo de agitación de esta mezcla fue de 40 minutos, momento en el cual se denota una viscosidad más alta que la del agua y al mismo tiempo una solución homogénea de los polímeros.

Figura 13. Floculantes preparados al 0,1%.



Un indicador para la determinación de efectividad del coagulante y el floculante es el índice de Willcomb puesto que este permite calificar de forma cuantitativa el comportamiento del floc teniendo en cuenta parámetros como formación, aglomeración, sedimentación y velocidad de sedimentación, en el **Cuadro 12** se muestra la descripción otorgada a cada uno de los puntajes de la clasificación del floc.

Cuadro 12. Clasificación del índice de 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 disperso por lo que presenta sedimentación muy lenta o nula
6	Floc bien formado y esponjoso, relativamente grande pero que sedimenta lentamente
8	Floc de buen tamaño que sedimenta rápidamente pero no de forma completa por lo que produce turbiedad en el agua
10	Floc que sedimenta por completo lo que permite obtener un 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 y económicas y administrativas. 2014.

Para determinar los reactivos óptimos, por lo general se establece un polímero floculante al azar y se deja como variable fija, luego de esto se alternan los coagulantes para establecer el mejor de ellos y su dosificación con mayor efectividad, pero se decidió evaluar primero el polímero óptimo y su dosificación después de intentar determinar el coagulante sin éxito debido que el polímero elegido al azar no resulto ser el indicado.

- **Ensayo de Jarras 1, determinación de polímero floculante.** Para este ensayo se dejó como variable fija un coagulante al azar, en este caso el Policloruro de aluminio y se dosificaron los 4 diferentes polímeros floculantes, los resultados obtenidos de este ensayo pueden ser observados en la **Tabla 11** a continuación.

Tabla 11. Resultados del primer ensayo de jarras

Parámetro	Jarra 1 (L-1550A)	Jarra 2 (L-1538)	Jarra 3 (L-1564)	Jarra 4 (L-1547M)
Dosificación de NaOH (ppm)	225	225	225	225
Dosificación de polímero (ppm)	5	5	5	5
Dosificación de coagulante L-AC005 (ppm)	500	500	500	500
Turbidez	86,2	258	432	31,1
pH	8,38	8,33	8,14	8,25
% Remoción	97,29	91,89	86,42	99,02
Índice de Willcomb	4	6	2	8

Este ensayo demostró que el floculante más apropiado para el tratamiento, es el polímero de referencia L-1547M debido a que presenta un alto porcentaje de remoción con respecto a los otros polímeros, no altera el pH de manera negativa puesto que permite que permanezca en el rango de tolerancia y su índice de Willcomb es alto comparado con las otras jarras, la **Figura 14** muestra el comportamiento presentado en este primer ensayo.

Figura 14. Ensayo de jarras 1 para determinación de polímero floculante.



Después de conocer con exactitud que polímero usar, se continuo a establecer que coagulante presentaría mejores resultados con los siguientes ensayos de jarras.

- **Ensayo de jarras 2, evaluación del coagulante Cloruro férrico.** Para este ensayo, se determinó como variable fija el floculante y su dosificación según lo establecido en el ensayo anterior y se agregó el cloruro férrico en diferentes concentraciones para establecer su comportamiento correspondiente. La **Tabla 12** muestra los resultados obtenidos en el ensayo en cuestión.

Tabla 12. Resultados de segundo ensayo de jarras

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de NaOH (ppm)	225	225	225	225
Dosificación de polímero L-1547M (ppm)	5	5	5	5
Dosificación de coagulante L-AC011 (ppm)	250	500	750	1000
Turbidez	2 040	1 678	80,5	2 985
pH	7,87	7,86	7,87	7,81
% Remoción	35,85	47,23	97,47	6,13
Índice de Willcomb	2	2	8	2

El comportamiento de este ensayo según la tabla anterior y como se puede ver en la **Figura 15**, arrojo como resultado que el mejor porcentaje de remoción y mejor índice de Willcomb lo obtuvo la jarra 3 con respecto a las demás jarras, pero se mantienen algunos floculos sin sedimentar lo que no permite que la turbidez sea aún menor a la obtenida.

Figura 15. Ensayo de jarras 2 para evaluación de Cloruro férrico.



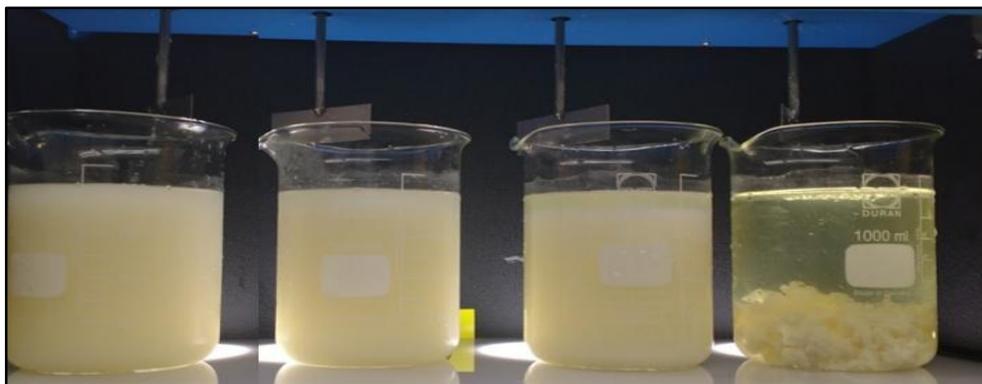
- **Ensayo de jarras 3, evaluación del coagulante Policloruro de aluminio.** Para este ensayo, de manera análoga al ensayo anterior, se determinó como variable fija el floculante y su dosificación establecida y se procedió a evaluar el Policloruro de aluminio a diferentes concentraciones. La **Tabla 13** muestra los resultados del ensayo en cuestión.

Tabla 13. Resultados de tercer ensayo de jarras

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de NaOH (ppm)	225	225	225	225
Dosificación de polímero L-1547M (ppm)	5	5	5	5
Dosificación de coagulante L-AC005 (ppm)	500	750	1 000	1 250
Turbidez	2 270	1 640	174	10,8
pH	7,87	7,86	7,87	7,81
% Remoción	28,62	48,43	94,53	99,66
Índice de Willcomb	2	2	4	10

En este ensayo se puede observar como la jarra 4 con una concentración de 1250 ppm de coagulante, tiene un índice de Willcomb de 10 que indica una formación de floc que permite que al momento de la sedimentación el agua quede cristalina, tal como lo denota su turbidez con un valor de 10,8, el porcentaje de remoción es significativamente más alto con respecto a las otras jarras evaluadas y se mantiene el pH en los rangos permitidos. En la **Figura 16** es notorio como el comportamiento de la jarra 4 es mucho más efectivo respecto a las otras jarras con concentraciones más bajas de Policloruro de aluminio.

Figura 16. Ensayo de jarras 3 para evaluación de Policloruro de aluminio.



- **Ensayo de jarras 4, evaluación del coagulante Sulfato de Aluminio.** Para este ensayo, se determinó como variable fija el floculante y su dosificación según lo establecido en el ensayo 1, luego se agregó el sulfato de aluminio en diferentes concentraciones para establecer su comportamiento correspondiente. Este ensayo se realizó principalmente como validación de la sustancia utilizada actualmente, debido a que su adición en la PTAR es muy empírica y puede que por dicha razón no presente una eficiencia adecuada. La **Tabla 14** muestra los resultados obtenidos en el ensayo en cuestión.

Tabla 14. Resultados del cuarto ensayo de jarras

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de NaOH (ppm)	225	225	225	225
Dosificación de polímero L-1547M (ppm)	5	5	5	5
Dosificación de coagulante Sulfato de aluminio (ppm)	500	750	1 000	1 250
Turbidez	565	103	890	1 070
pH	7,87	7,86	7,87	7,81
% Remoción	82,23	96,76	72,01	66,35
Índice de Willcomb	4	8	2	2

En este ensayo se pudo corroborar que el sulfato de aluminio con esta agua en específico, no presenta un fenómeno de sedimentación, si no que por el contrario presenta flotación de los floc, lo cual a pesar de obtener un buen porcentaje de remoción e índice de Willcomb en la jarra 2 con una dosificación de 750 ppm del reactivo, es inviable en la planta de tratamiento porque el clarifloculador está diseñado para ejercer una sedimentación, por esto directamente se excluye este coagulante como opción posible.

Figura 17. Ensayo de jarras 4 para evaluación de Sulfato de aluminio.

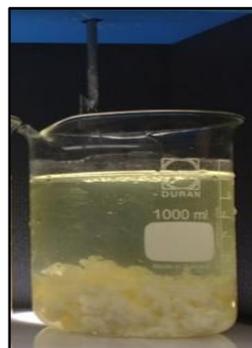
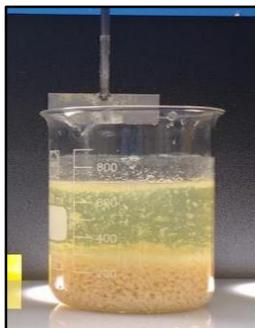


Luego de realizar los ensayos pertinentes, se procede a seleccionar el mejor coagulante y su dosificación óptima para obtener el mejor resultado, en la **Tabla 15**, se muestran los datos del mejor desempeño en cada uno de los ensayos de jarras con sus correspondientes dosificaciones de reactivos utilizados para obtener una comparación directa.

Tabla 15. Recopilación de resultados de los ensayos de jarras para evaluación de coagulante

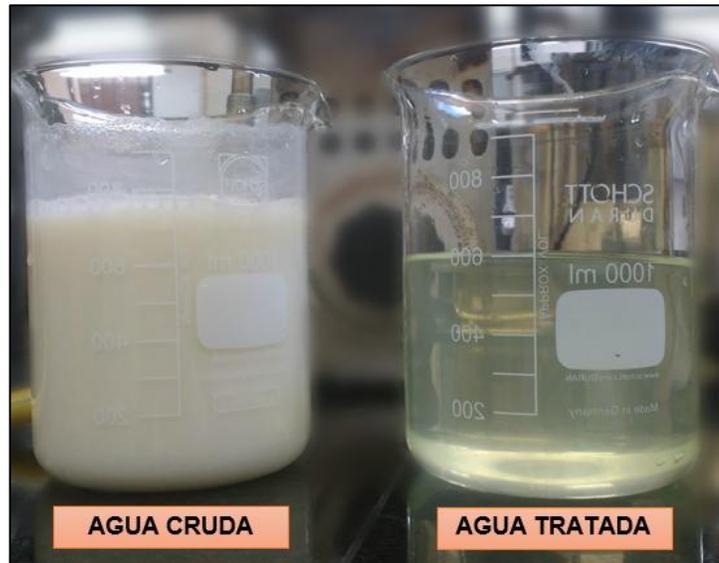
Parámetro	Ensayo 2 - Jarra 3	Ensayo 3 - Jarra 4	Ensayo 4 - Jarra 2
Dosificación de NaOH (ppm)	225	225	225
Dosificación de polímero L-1547M (ppm)	5	5	5
Dosificación de coagulante (ppm)	750	1 250	750
Turbidez	80,5	10,8	103
pH	7,87	7,81	7,86
% Remoción	97,47	99,66	96,76
Índice de Willcomb	8	10	8

Imagen



De acuerdo a los resultados el Policloruro de aluminio, con una dosificación de 1250 ppm presenta el mejor desempeño al tener un porcentaje de remoción del 99,66%, un índice de Willcomb de 10 y una turbidez bastante baja de 10,8 NTU, por lo cual se eligió como coagulante óptimo para el proceso de clarificación. Seguido a esta determinación, se procedió a preparar 1.500 mL de agua tratada con las condiciones del Policloruro de aluminio, se filtró para eliminar el lodo y se preparó para realizar su respectiva cadena de custodia y ser llevada al laboratorio externo de análisis Asinal Ltda. La **Figura 18** muestra la comparación entre el agua cruda y el agua que fue enviada para el análisis de las características críticas.

Figura 18. Comparación del agua tratada con condiciones óptimas y el agua cruda.



Un parámetro que no era crítico dentro de la caracterización al agua cruda fue el nivel de cloruros, pero que se midió en el laboratorio debido a que el coagulante seleccionado fue el Policloruro de aluminio, el cual puede elevar el nivel de estos iones en la muestra tratada e impedir el cumplimiento de este parámetro según la normatividad.

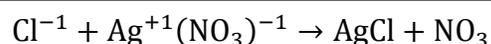
Para la determinación de cloruros se tomó una muestra de 10 mL del agua tratada y se le agregaron 2 gotas de cromato de potasio la cual tiñe la muestra de un color amarillo claro, luego se tituló con una solución de nitrato de plata al 0,0282 N hasta obtener un color naranja turbio como se muestra en la **Figura 19**, esto se logró con la adición de 2,2 mL de la solución titulante.

Figura 19. Muestra titulada para determinación de cloruros.



Se debe tener en cuenta que la reacción llevada a cabo en esta titulación es 1:1 como se puede observar en la **Ecuación 12**.

Ecuación 12. Reacción presente en la determinación de cloruros.



Debido a la condición mostrada en la reacción anterior, se puede establecer la concentración de cloruros presentes en la muestra de agua tratada según la fórmula general de disoluciones (Ver **Ecuación 10**).

$$C_1 = \frac{2,2 \text{ mL} * 0,0282 \text{ N}}{10 \text{ mL}} = 6,204 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Luego de obtener la concentración de cloruros en normalidad se procede a realizar su conversión a partes por millón como muestra la **Ecuación 13**.

Ecuación 13. Expresión para conversión de Normal a partes por millón de cloruros.

$$\text{ppm Cl}^{-1} = \text{N} * \text{PM} * \text{FC}$$

Donde:

N: Concentración de cloruros en normalidad

PM: Peso molecular del Cloro

FC: Factor de conversión

Reemplazando se obtiene que:

$$\text{ppm Cl}^{-1} = 6,204 \times 10^{-3} \frac{\text{meq-g Cl}^{-1}}{\text{mL}} * \frac{35,5 \text{ mg}}{\text{meq-g Cl}^{-1}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 220,2 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Los resultados de los análisis al agua tratada con la modificación de la clarificación realizada por el laboratorio externo Asinal Ltda. (Ver **ANEXO G**) de los parámetros críticos, se presentan en la **Tabla 16** junto con los parámetros obtenidos del agua cruda del análisis del laboratorio Dr. Calderón Ltda. (Ver **ANEXO E**) comparados con los parámetros exigidos por la normatividad vigente.

Tabla 16. Comparación de parámetros de agua cruda y agua tratada con la modificación de clarificación

Parámetro	Agua cruda (Análisis por Dr. Calderón Ltda.)	Agua con tratamiento por la empresa (Análisis por Analquim Ltda.)	Agua con modificación de clarificación (Análisis por Asinal Ltda.)	Res. 0631 de 2015	Nivel de cumplimiento
DBO ₅ (ppm)	10 082	2 945	1 722	250	No cumple
DQO (ppm)	25 078	10 858	7 965	450	No cumple
Grasas y aceites (ppm)	1 034	35	33	20	No cumple
Cloruros (ppm)	5,8	-	220,2	500	Cumple

Según los datos obtenidos en la **Tabla 16**, se puede establecer que el uso del coagulante Policloruro de aluminio junto con el floculante de carga aniónica baja y alto peso molecular de referencia L-1547M, (ambos adquiridos de la empresa Lipesa S.A.) se logra una remoción significativa de cada uno de los parámetros críticos (DBO₅, DQO y grasas y aceites) puesto que de niveles de 10 082 ppm en cuanto a la DBO₅ se redujo en un 89.92% con la modificación de la clarificación, mientras que el porcentaje de reducción de este mismo parámetro con el tratamiento actual es de solo un 70,79%; del mismo modo en cuanto a la DQO se logró reducir

sus niveles en un 68,24% con la adición de los nuevos reactivos mientras que con el tratamiento que maneja la empresa solo se logra una reducción de 56,70%; por último, el parámetro que menos diferencia de reducción obtuvo entre un tratamiento y otro fueron las grasas y aceites, puesto que se pasó de un porcentaje de reducción de 96,62% con el tratamiento actual a un porcentaje de remoción de 96,81% con la modificación de la clarificación. Por otro lado el coagulante utilizado (Policloruro de aluminio), aumento los niveles de cloruros, pero aun así estos permanecen dentro de los límites permitidos por la normatividad con un valor de 220,2 ppm.

Luego de establecer que el proceso arrojó resultados de remoción favorables, estos no son suficientes para cumplir con los niveles expuestos en la normatividad vigente por lo cual es necesario recurrir a la segunda alternativa planteada en el capítulo anterior con el segundo mejor puntaje, la cual corresponde al intercambio iónico.

- **Tratamiento complementario, filtración e intercambio iónico.** Se debe tener en cuenta que el agua antes de ser dispuesta al vertimiento en la empresa pasa por un proceso de filtrado por arena, que como lo demostraron los resultados del tratamiento actual no es suficiente para que la clarificación sea efectiva, por lo tanto se llevó a cabo un segunda practica de laboratorio para evaluar la filtración y el intercambio iónico después de realizar la clarificación con los reactivos y dosificaciones ya establecidas en la primera practica de laboratorio y para ello se le realizo la caracterización inicial, todas estas condiciones nombradas se encuentran depositadas en la **Tabla 17**.

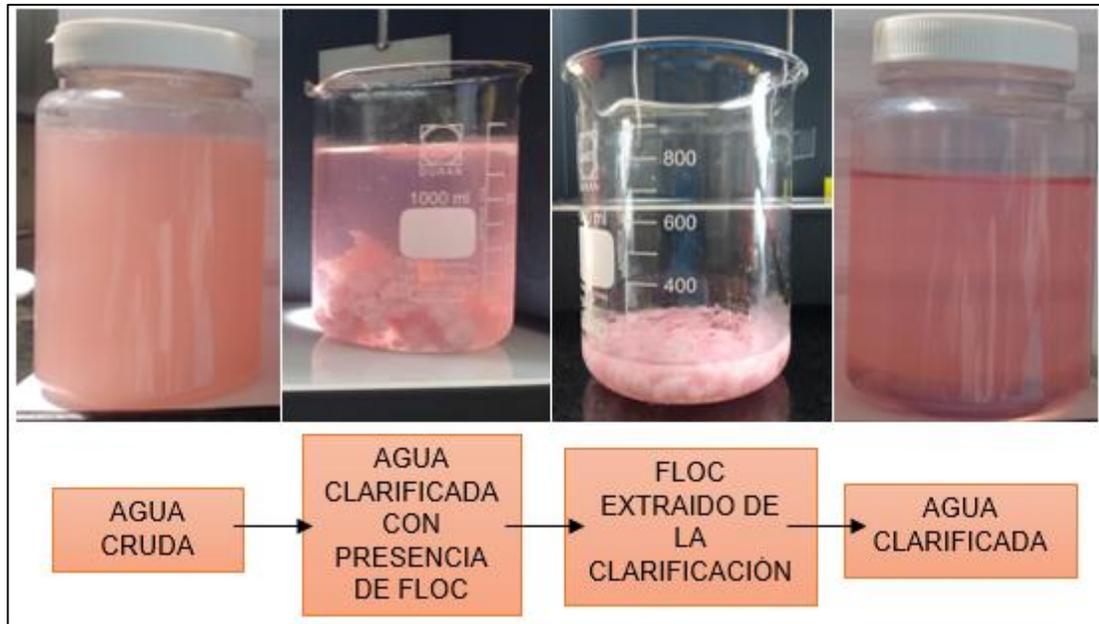
Tabla 17. Variables fijas en la clarificación previa a la filtración e intercambio iónico

Parámetro	Valor
pH agua cruda	4,85
Turbidez agua cruda (NTU)	3 915
Sólidos suspendidos totales (ppm)	1 745
Dosificación de NaOH (ppm)	225
Dosificación de Coagulante L-AC005 (ppm)	1 250
Dosificación de Floculante L-1547M (ppm)	5

Luego de llevar a cabo el proceso de clarificación se obtuvo un agua con pH de 8,59 unidades, una turbidez de 8,16 NTU y una concentración de sólidos suspendidos totales de 4 ppm. La comparación del agua cruda con respecto al agua clarificada se muestra en la

Figura 20, de esta agua clarificada se prepararon 2 litros para poder aplicar los procesos posteriores y finalmente ser llevada a caracterización a laboratorio externo.

Figura 20. Muestra de agua cruda respecto a agua clarificada previa a la filtración e intercambio iónico.



4.3 FILTRACIÓN

La arena utilizada actualmente por la empresa es mostrada en la **Figura 21**, es considerada un arena gruesa al tener un diámetro promedio de 1,2 mm⁴⁷, lo que permite que a través de los intersticios pasen sólidos suspendidos y disueltos, esto dificulta la remoción de sustancias como lo son las grasas y aceites, lo cual quedó demostrado en los resultados entregados por Analquim Ltda. mediante la caracterización del agua luego de pasar por el tratamiento actual, debido a esta condición se optó por evaluar un filtro con arena de menor tamaño para aun así simular la unidad de operación y obtener un mejor resultado.

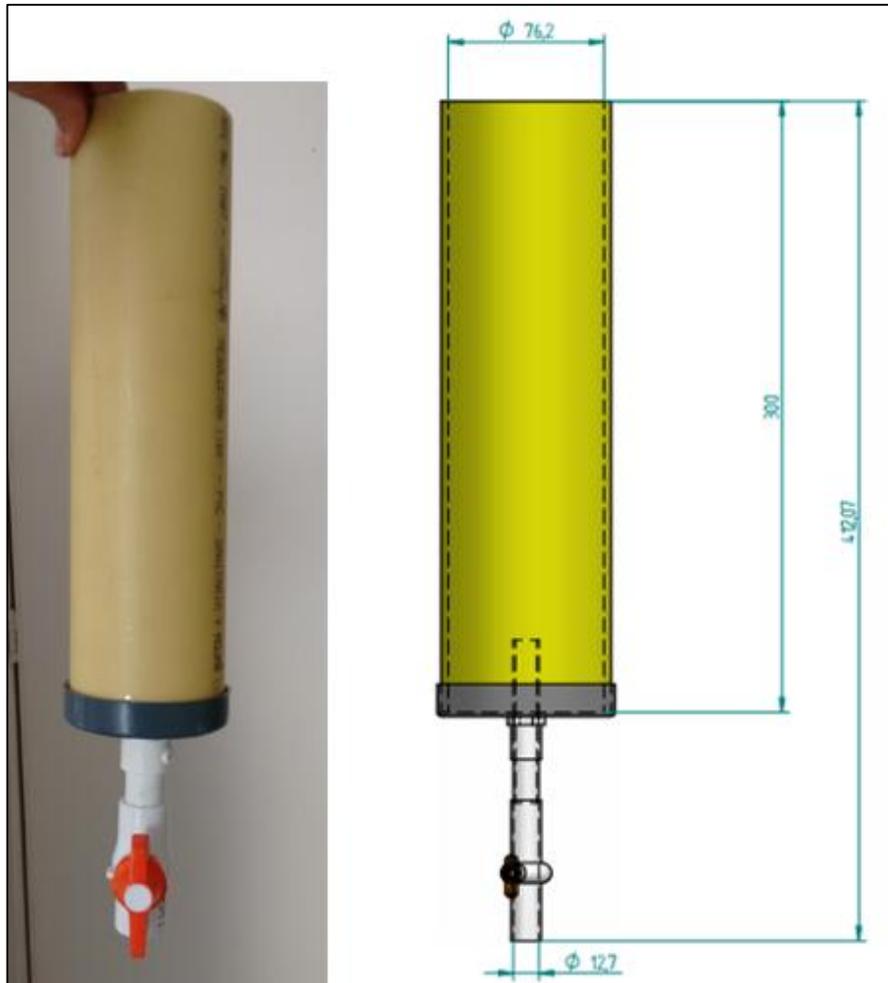
⁴⁷ BOHNETT, David y REZNER, John. Filtración en grava y arena. [Electronic (1)]. [Consultado el Agosto/082016]. Disponible en: http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm

Figura 21. Arena gruesa utilizada en la filtración actual.



4.3.1 Filtro. Para la construcción del filtro se utilizó un tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 30 cm de largo al cual se le soldó un tapón de prueba en el mismo material, a dicho tapón le fue realizada una abertura de $\frac{1}{2}$ pulgada en su parte inferior para acoplar una saliente de la misma medida de diámetro y finalizar el montaje con una válvula de bola de $\frac{1}{2}$ pulgada la cual permitiera controlar el caudal y así lograr un mayor tiempo de retención y por lo tanto mejorar el contacto, el plano del montaje junto con su captura fotográfica es mostrado en la **Figura 22** La profundidad del lecho de arena utilizado se tomó de una relación 2 a 1 con respecto al diámetro del filtro, correspondiendo así a una altura de lecho de 15 cm. Para fines experimentales y lograr la retención de la arena en la parte inferior del filtro se utilizó una capa de algodón, la cual no altera el proceso y a su vez permite el fácil paso del caudal.

Figura 22. Plano e imagen del montaje filtro de arena
(medidas del plano en mm).



4.3.2 Caracterización de la arena. Para tener una referencia técnica de las características de la arena manejada a nivel laboratorio, se determinaron algunas propiedades importantes y que eventualmente permitirán el cálculo de la arena necesaria a nivel industrial.

- **Diámetro geométrico.** En el ámbito de la caracterización de partículas se pueden encontrar diferentes diámetros estadísticos que permiten establecer la tendencia central de tamaño de partícula, esta medida permite establecer otros parámetros como área superficial específica, volumen específico y peso

promedio de partícula⁴⁸. Para la medición de este parámetro, se tomaron 10 partículas de la arena a caracterizar, y mediante un calibrador se midieron las 3 dimensiones de cada una de los granos seleccionados. La **Tabla 18** muestra las medidas de ancho, alto y largo y mediante la **Ecuación 14** se establecieron los diámetros geométricos correspondientes mostrados en la misma tabla.

Ecuación 14. Expresión utilizada para hallar diámetro geométrico.

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

Donde:

D_G= Diámetro geométrico

L=Largo de la partícula

An=Ancho de la partícula

Al=Alto de la partícula

Tabla 18. Medida de partículas de arena y diámetro geométrico

Partícula	Ancho (mm)	Alto (mm)	Largo (mm)	Diámetro Geométrico (mm)
1	0,35	0,30	0,50	0,37
2	0,40	0,35	0,45	0,40
3	0,45	0,20	0,55	0,37
4	0,60	0,55	0,80	0,64
5	0,45	0,40	0,55	0,46
6	0,40	0,35	0,50	0,41
7	0,65	0,60	0,70	0,65
8	0,75	0,70	0,85	0,76
9	0,60	0,55	0,65	0,60
10	0,35	0,30	0,60	0,40
Diámetro geométrico promedio				0,51

⁴⁸ Vicerrectoría de docencia de la Universidad de Antioquia. La micromerética y su relación con las propiedades del polvo - Aspectos teóricos I. [Electronic (1)]. Medellín. [Consultado el Agosto/292016]. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=129964&inpopup=1>

Al obtener estas medidas de diámetro geométrico para 10 partículas se procedió a establecer un promedio de las mismas obteniendo así un diámetro geométrico de 0,51 mm.

- **Esfericidad.** Es la medida que determina la cercanía que tiene una partícula con respecto a tener la forma de una esfera perfecta. Para esta práctica se estableció mediante la **Ecuación 15** para cada una de las partículas medidas y luego se procedió a establecer un promedio.

Ecuación 15. Calculo de la esfericidad mediante el uso de diámetro geométrico.

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

Donde

ϕ : Esfericidad

D_G =Diámetro geométrico

La **Tabla 19** muestra los datos resultantes de la aplicación de la expresión anterior y una esfericidad promedio.

Tabla 19. Resultados de esfericidad de las partículas medidas

Partícula	Esfericidad
1	0,75
2	0,88
3	0,67
4	0,80
5	0,84
6	0,82
7	0,93
8	0,90
9	0,92
10	0,66
Esfericidad promedio	0,82

La esfericidad promedio es cercana a 1, lo cual indica una cercanía de las partículas a tener una forma esférica y menos angular, esto garantiza su fácil acomodación en un lecho, dejando menos espacio para intersticios que a su vez lograrán la mejor retención de sólidos suspendidos y disueltos del agua a filtrar.

- **Densidad aparente aireada.** Esta medida indica la relación entre la masa y el volumen del sólido seco, teniendo en cuenta los espacios generados entre sí por la acomodación natural de las partículas. A nivel laboratorio se midió tomando una cantidad arbitraria de arena y midiendo su masa, luego se introdujo esa cantidad de arena en una probeta y se revisó el volumen que ocupaba.
- **Densidad aparente empacada.** Este parámetro representa la relación entre la masa del sólido y el volumen que ocupa el mismo pero sin tener en cuenta los espacios generados por su acomodación natural, para ello se somete a vibración o agitación lo que resulta en la organización de las partículas de tal modo que los poros sean rellenados. Para su medición en el laboratorio a la misma masa escogida para determinar la densidad aparente aireada y luego de ser introducida en la probeta se agito por 2 minutos hasta lograr su empaquetado.

Para determinar la densidad de estos dos parámetros se utilizó la expresión consignada en la **Ecuación 16**.

Ecuación 16. Cálculo de densidad.

$$\rho = m / V$$

Por otro lado los datos obtenidos de esta sección experimental son mostrados en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Datos y resultados de densidad aparente aireada y empacada

Parámetro	Valor
Masa (g)	30,8
Volumen sólido aireado (mL)	22,0
Volumen sólido empacado (mL)	20,0
Densidad aparente aireada (g/mL)	1,4
Densidad aparente empacada (g/mL)	1,5

- **Tamaño y distribución de partículas.** Para la determinación de estos parámetros se utilizó el proceso de tamizado, que consiste en hacer pasar el material a través de una serie de tamices circulares, cada uno con diferente tamaño de poro dispuestos del más grande al más pequeño y con ajuste hermético uno entre otro para así evitar las pérdidas de polvo. Luego de elegir los tamices que puedan tener las aberturas más apropiadas para retener el material, se alinean de forma vertical y se someten a movimiento axial y diametral de manera constante durante aproximadamente 20 minutos y así garantizar que el material pase por todos los tamices y que al final de la prueba quede disperso en diversas fracción entre los diferentes tamices. Para este caso en particular se cargó el primer tamiz con 300 g de muestra de la arena y se dejó en vibración por 20 min, luego de transcurrido este tiempo se revisaron los tamices y se pesaron las cantidades contenidas en cada uno de ellos. La **Tabla 21** los números de malla y la abertura efectiva de cada uno de los tamices elegidos para el proceso y la masa retenida en cada uno de ellos.

Tabla 21. Resultados del proceso de tamizado

N° de Malla ASTM E 11-87	Abertura (μm)	Masa retenida (g)
30	600	5,27
40	425	23,29
50	300	83,91
60	250	27,54
70	212	68,41
80	180	48,23
100	150	26,30
120	125	11,14
140	106	2,75
Fondo (170)	90	0,40
Total masa retenida (g)		297,24
Perdidas (g)		2,76

A partir de los datos obtenidos con el tamizado, se puede establecer el diámetro de superficie-volumen el cual le otorga un único diámetro a toda la mezcla que resulta ser heterogénea, por lo tanto es un dato mucho más uniforme debido a que intervienen cada una de las fracciones másicas retenidas en los tamices y los diámetros de partícula hallados a partir de las aberturas efectivas. Para hallar el

diámetro medio de superficie-volumen, se obedece a la **Ecuación 17** mostrada a continuación.

Ecuación 17. Expresión para el cálculo del diámetro medio de 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 cada uno de los tamices

D_{Pi} = Diámetros de partícula a partir de aberturas efectivas

Para hallar la fracción másica retenida en cada uno de los tamices, se hace la relación de la masa retenida en cada tamiza respecto a la masa total retenida y para hallar los diámetros de partícula a partir de aberturas efectivas, se realiza un promedio de cada abertura con la abertura inmediatamente anterior, la **Tabla 22** muestra los resultados de estos cálculos.

Tabla 22. Resultados de fracciones másicas y diámetros de partícula según abertura efectiva

N° de Malla ASTM E 11-87	Abertura (μm)	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	X_i Fracción másica retenida	D_p (mm)
25	710	0,710	-	-	-
30	600	0,600	5,27	0,018	0,655
40	425	0,425	23,29	0,078	0,513
50	300	0,300	83,91	0,282	0,363
60	250	0,250	27,54	0,093	0,275
70	212	0,212	68,41	0,230	0,231
80	180	0,180	48,23	0,162	0,196
100	150	0,150	26,30	0,088	0,165
120	125	0,125	11,14	0,037	0,138
140	106	0,106	2,75	0,009	0,116
Fondo(170)	90	0,09	0,40	0,001	0,098

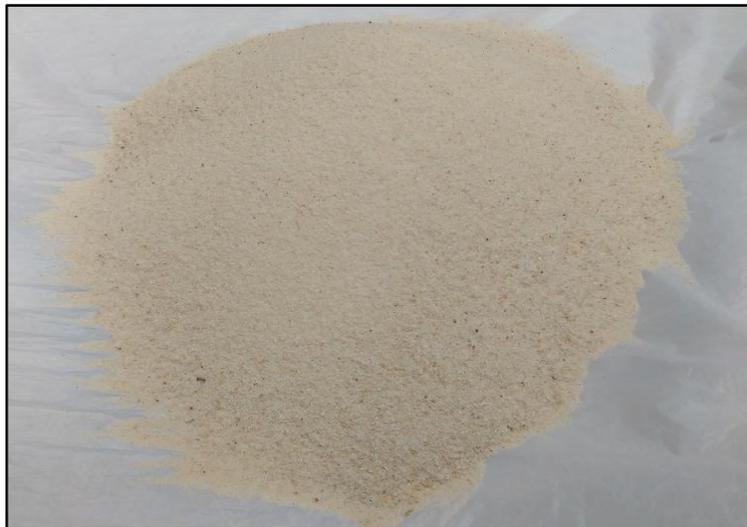
Reemplazando en la **Ecuación 17** se obtiene:

$$D_s = \frac{1}{4,02} = 0,25 \text{ mm}$$

Este diámetro de partícula confirma que la arena a utilizar en el ensayo de laboratorio es óptima para lograr una alta retención de sólidos disueltos y suspendidos por encontrarse en la categoría de arena fina, puesto que dará menor cabida a la formación de poros e intersticios grandes que permitan el paso de las sustancias anteriormente nombradas. La

Figura 23 muestra la arena fina, a la cual se le aplicó la caracterización.

Figura 23. Arena fina caracterizada en laboratorio.



Luego de conocer las condiciones de la filtración, se estableció el caudal de esta etapa del proceso, este correspondió a 1 mL/s y fue regulado mediante la válvula de bola, se determinó que este caudal era óptimo puesto que con dicho caudal se pudo lograr un contacto significativo y así una mejor remoción de sustancias presentes en el agua clarificada. Al final de esta operación se obtuvo un agua con pH de 7,39 unidades, turbidez de 4,64 NTU y una concentración de sólidos suspendidos totales de 4 ppm.

4.4 INTERCAMBIO IÓNICO

Después de que el agua residual pasa por el filtro de arena, esta agua filtrada pasa por un filtro de intercambio iónico. Para esta etapa de la experimentación se usó una resina aniónica fuertemente básica mostrada en la **Figura 24** junto con una vista superior de la misma ya introducida en el filtro que se utilizó para simular el equipo de intercambio iónico.

Figura 24. Resina de intercambio iónico.



La resina pertenece a un grupo de resinas especiales de intercambio iónico, cuya referencia es TANEX según la empresa Purolite, en el **Cuadro 13** se muestran las características específicas de la resina utilizada a nivel experimental.

El filtro utilizado como intercambiador iónico corresponde a un montaje análogo al utilizado en la etapa de filtración, con las mismas características y mismos materiales. Para la regeneración futura de la resina es necesario usar salmuera según recomendación del fabricante.

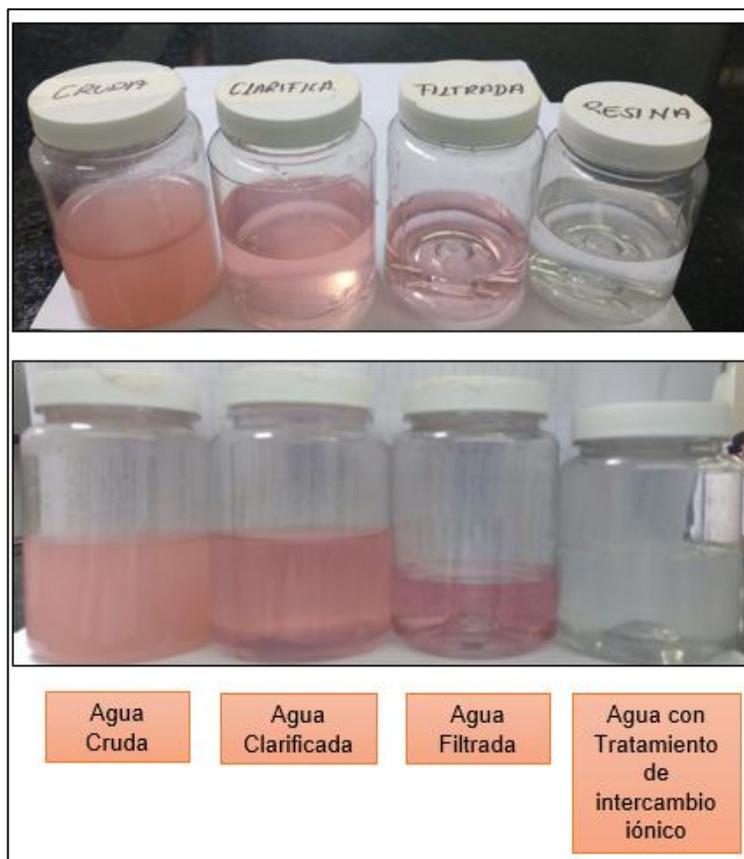
Cuadro 13. Características específicas de la resina utilizadas en las pruebas a nivel laboratorio.

Referencia resina	Purolite TANEX
Tipo	Macroporosa aniónica fuertemente básica
Grupo funcional	Amonio cuaternario
Forma iónica	Cl ⁻
Capacidad total (eq/L)	0,6
Retención de humedad (%)	68-75
Observaciones y aplicaciones	Mezcla especial de resinas aniónicas usadas para la extracción de taninos y materia orgánica. Utilizada principalmente para aplicaciones de agua potable. Purolite TANEX es útil para la reducción de la materia orgánica más difícil de controlar, tanto disuelta como de naturaleza coloidal.

Fuente: Purolite. INFORMACIONES TÉCNICAS, CATÁLOGO DE PRODUCTOS. [Electronic (1)]. [Consultado el 16 de Noviembre de 2016]. Disponible en: http://www.purolite.com.br/Customized/uploads/Spanish%20Guide.PDF

Para lograr un intercambio efectivo y lograr una remoción óptima de los parámetros críticos, es necesario que la resina tenga un tiempo de contacto con la muestra durante un tiempo considerable, razón por la cual se regulo el caudal con la válvula de bola hasta obtener un valor de 1 mL/s. Luego de este proceso de intercambio iónico, se obtuvo un agua con pH de 7,13 unidades, turbidez de 4,05 NTU y una concentración de solidos suspendidos totales de 3 ppm. En la **Figura 25** se puede observar una imagen comparativa de todo el proceso, desde el agua cruda hasta el resultado conseguido por intercambio iónico.

Figura 25. Comparación de agua cruda, clarificada, filtrada y con aplicación de intercambio iónico.



En la **Tabla 23** se puede apreciar las características de las muestras en cada una de las operaciones realizadas.

Tabla 23. Recopilación de resultados de características en cada proceso.

Parámetro	Agua Cruda	Agua Clarificada	Agua filtrada	Agua con intercambio iónico
pH	4,85	8,59	7,39	7,13
Turbidez (NTU)	3.915	8,16	4,64	4,05
SST (ppm)	1.745	4	4	3

Luego de medir cada uno de los parámetros posibles en el ensayo de laboratorio como lo muestra la **Tabla 23**, se pudo establecer una mejora en el tratamiento, por

lo cual al finalizar el proceso de filtración y de intercambio iónico para los 2 litros clarificados, estos se sometieron a cadena de custodia para ser llevados directamente al laboratorio externo Asinal Ltda. (Ver **ANEXO H**) en donde se solicitó realizar el análisis de los parámetros críticos. En la **Tabla 24** se muestra la recopilación de todos los datos recolectados a través de cada uno de los tratamientos y la comparación de los resultados finales con respecto a la normatividad vigente.

Tabla 24. Comparación de parámetros de agua cruda, agua tratada con la modificación de clarificación y agua con tratamiento de intercambio iónico.

Parámetro	Agua cruda (Análisis por Dr. Calderón Ltda.)	Agua con tratamiento por la empresa (Análisis por Analquim Ltda.)	Agua con modificación de clarificación (Análisis por Asinal Ltda.)	Agua con tratamiento de intercambio iónico (Análisis por Asinal Ltda.)	Res. 0631 de 2015	Nivel de cumplimiento de agua con tratamiento de intercambio iónico
DBO ₅ (ppm)	10 082	2 945	1 722	89	250	Cumple
DQO (ppm)	25 078	10 858	7 965	358	450	Cumple
Grasas y aceites (ppm)	1 034	35	33	14	20	Cumple
Cloruros (ppm)	5,8	-	220,2	380,4	500	Cumple

La **Tabla 25** muestra una comparación de los porcentajes de remoción en cada uno de los tratamientos llevados a cabo.

Tabla 25. Recopilación de porcentajes de remoción a través de los tratamientos realizados.

Parámetro	Agua cruda	PROCENTAJE DE REMOCIÓN (%)		
		Tratamiento actual realizado por la empresa (Coagulante: Sulfato de aluminio Floculante: Ninguno)	Tratamiento con modificación de la clarificación (Coagulante: Policloruro de aluminio Floculante: Polímero de Carga aniónica baja)	Tratamiento de intercambio iónico (Resina= Aniónica fuertemente básica)
DBO ₅ (ppm)	10 082	70,79	82,92	99,17
DQO (ppm)	25 078	56,70	68,24	98,57
Grasas y aceites (ppm)	1 034	96,62	96,81	98,65

El porcentaje de remoción obtenido para el parámetro de grasas y aceites fue de un 98,65% y es en gran medida gracias a la implementación de la filtración, puesto que esta unidad de operación ayuda a remover las sustancias suspendidas y disueltas como lo son estos componentes y demuestra que el uso de una arena de menor calibre, proporciona una mejor filtración.

La resina aniónica fuertemente básica utilizada en este ensayo, es una mezcla de resinas aniónicas macro porosas con grupo funcional de amonio cuaternario, que usualmente son usadas para la eliminación de taninos y materia orgánica⁴⁹, en este caso en particular se logró evidenciar la eliminación de materia orgánica, debido a que se obtuvo un porcentaje de remoción de 99,17% de la demanda biológica de oxígeno, lo cual indica una eliminación en dicho porcentaje de la materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios biológicos.

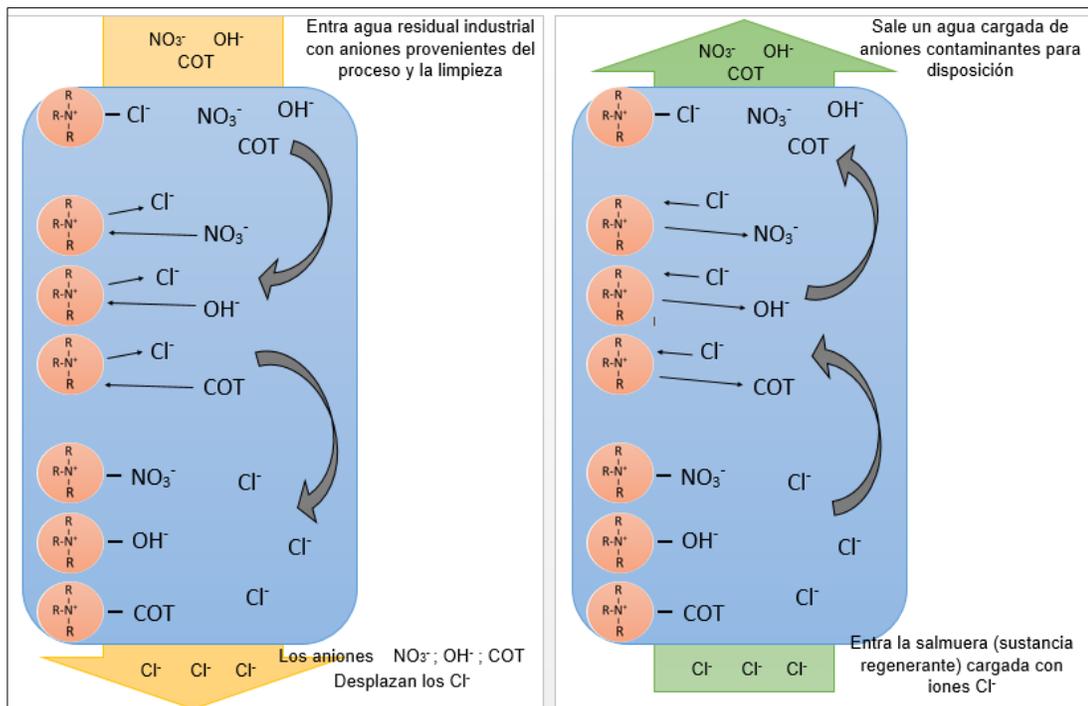
Aparte de la materia orgánica, otros componentes de la carga contaminante en este tipo de proceso, son atribuibles a las sustancias requeridas para la limpieza, dentro de dichas sustancias se encuentran el hidróxido de sodio que aporta los iones OH⁻, y el ácido nítrico que aporta los iones NO₃⁻, ambos utilizados en el lavado de equipos y que sin su remoción, aumentan la demanda química de oxígeno por la saturación

⁴⁹ Universidad de los Andes de Venezuela. Intercambio iónico. [Electronic (1)]. Mérida, Venezuela. [Consultado el Septiembre/3 2016]. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/csalas/OPIV/intercambio_ionico.pdf

de sustancias susceptibles a ser oxidadas químicamente, dichas sustancias presentan cargas aniónicas que al entrar en contacto con la resina utilizada en la experimentación, por esta tener una forma iónica de cloruros logra el intercambio con dichos aniones aportando una remoción de 98,57% del parámetro de demanda química de oxígeno, que se refiere a todas las sustancias susceptibles a ser oxidadas por tanto química como biológicamente.

En la **Figura 26** se puede apreciar el comportamiento de intercambio con la resina de tipo aniónica fuertemente básica en la cual el grupo funcional corresponde a una amina cuaternaria cargada positivamente y su forma iónica corresponde a aniones cloruros, estos aniones se ven desplazados por los aniones presentes en el agua residual puesto que presentan mayor afinidad por la carga positiva del polímero, este proceso se lleva a cabo continuamente hasta el momento en que la resina se satura, cuando esto sucede, se debe proporcionar una solución de salmuera concentrada al sistema de intercambio iónico para restaurar los aniones cloruros en la resina y obtener una corriente saturada de iones nitratos, hidroxilos y materia orgánica que se maneja como residuo para disposición.

Figura 26. Comportamiento de la resina aniónica fuertemente básica respecto a los aniones presentes en el agua residual y su regeneración.



Fuente: SPENCER, Clayton. Ion Exchange. [Electrónico]. Estados Unidos: YouTube, 28 de Septiembre 2013. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=7he0Z1snrHg&t=1s>. [Consultado el 3 de septiembre de 2016]

Por lo tanto la empresa requerirá 2,03 L de solución al 2% de NaOH para llevar el pH del agua residual desde 4,16 a 9,1.

Teniendo en cuenta que el NaOH se preparó a una concentración igual del 2% (20000 ppm), para poder tener el dato escalado se procede a lo siguiente:

$$X \text{ kg} = 2,03 \text{ L sln NaOH (2\%)} * \frac{20\,000 \text{ mg NaOH (99\%)}}{1 \text{ L sln NaOH (2\%)}} * \frac{1 \text{ kg NaOH (99\%)}}{1 \times 10^6 \text{ mg NaOH (99\%)}}$$

$$X \text{ kg} = 0,0405 \text{ kg de NaOH (99\%)}$$

Este número (0,0405 kg de NaOH) representa la cantidad de NaOH sólido en escamas que se diluirá en 2,03 L de agua, para lograr la neutralización del caudal trabajado.

- **Coagulante.** El coagulante que arrojó mejores resultados, según lo desarrollado en el test de jarras, fue el policloruro de aluminio, con referencia según el fabricante de AC005. A cada una de las jarras con un volumen de agua residual igual a 800 mL, se le adicionaron 10 mL del coagulante equivalentes a 1 250 ppm del mismo.

$$X \text{ L Coag. (10\%)} = 180\,000 \text{ mL A. R. I.} * \frac{10 \text{ mL Coag. (10\%)}}{800 \text{ mL A. R. I.}} * \frac{1 \text{ L Coag. (10\%)}}{1000 \text{ mL Coag. (10\%)}}$$

$$X \text{ L de Coagulante (10\%)} = 2,250 \text{ L Coagulante(10\%)}$$

Durante la parte experimental se trabajó el coagulante a una concentración del 10%, es decir, 100 000 ppm por lo tanto se realiza la respectiva dilución para calcular la cantidad de coagulante necesaria que se diluirá en 2,250 L:

$$X \text{ kg} = 2,03 \text{ L sln Coag. (10\%)} * \frac{100\,000 \text{ mg Coag. puro}}{1 \text{ L sln Coag. (10\%)}} * \frac{1 \text{ kg Coag. puro}}{1 \times 10^6 \text{ mg Coag. puro}}$$

$$X \text{ kg} = 0,225 \text{ kg de Coagulante puro}$$

- **Floculante.** Durante la parte experimental desarrollada en este trabajo de grado, se llevó a cabo la selección del floculante, tal como se evidencio en el test de jarras, el que arrojó mejores resultados fue el floculante con referencia según de fábrica de L-1547M; a las muestras se le agrego 4 mL de este floculante, es decir una concentración igual de 5 ppm de este compuesto en la muestra. La dosificación que se debe llevar en la empresa Inversiones Fasulac Ltda. es:

$$X \text{ L Floc. (0,1\%)} = 180\,000 \text{ mL A. R. I.} * \frac{4 \text{ mL Floc. (0,1\%)}}{800 \text{ mL A. R. I.}} * \frac{1 \text{ L Floc. (0,1\%)}}{1000 \text{ mL Floc. (0,1\%)}}$$

$$X \text{ L de Floculante (0,1\%)} = 0,9 \text{ L Floculante (0,1\%)}$$

El floculante se preparó a una concentración de 0,1% es decir 1 000 ppm; se realiza la dilución para especificar la cantidad de coagulante que se adicionara en 0,9 L de agua residual y con esa parte tratar la muestra.

$$X \text{ kg} = 0,9 \text{ L sln Floc. (0,1\%)} * \frac{1\,000 \text{ mg Floc. puro}}{1 \text{ L sln Floc. (0,1\%)}} * \frac{1 \text{ kg Floc. puro}}{1 \times 10^6 \text{ mg Floc. puro}}$$

$$X \text{ kg} = 9 \times 10^{-4} \text{ kg de Floculante puro}$$

5.1.1 Cantidad de reactivos necesarios para la implementación de la propuesta de mejora. En la **Tabla 26** se muestra las cantidades necesarias que se utilizaran en la propuesta de manera industrial, especificando cuanto se utilizara por tratamiento, por mes y volumen de cada una de las diluciones.

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La dosis por tratamiento, representa la cantidad en kilogramos de cada una de las sustancias, multiplicada por 8 que representa una jornada laboral de producción en la empresa Inversiones Fasulac Ltda.

- La dosis mensual es igual a la dosis por día multiplicado por 13, este último número representa la cantidad de días en el mes en que se trabaja dentro de la empresa.
- La cantidad de dilución por día es igual al volumen escalado de cada una de las sustancias multiplicada por una jornada laboral (8 horas).
- Las siguientes cantidades de reactivos están aplicadas al caudal de 0,18 m³/h que es el manejado en la PTAR.

Tabla 26. Cantidad de hidróxido de sodio, coagulante y floculante para caudal de 0,18 m³/h

Sustancia	Dosis por tratamiento (kg)	Dosis mensual (kg)	Cantidad de dilución por día (L)
Hidróxido de sodio	0,324	4,212	16,2
Coagulante	1,8	23,4	18
Floculante	7,2x10 ⁻³	0,0936	7,2

5.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Teniendo en cuenta que los equipos utilizados para la propuesta de mejora ya se encuentran en la compañía, en esta parte del presente trabajo de grado solamente se realizara una breve descripción de la arena que se utilizara en el filtro de arena, y una detallada información técnica del filtro de intercambio iónico, como por ejemplo, dimensiones, capacidad y potencias de las bombas necesarias para el buen funcionamiento de este equipo.

5.2.1 Filtro de Arena. El primer medio filtrante que se utiliza en esta propuesta de mejora es la arena, siendo así que el filtro que actualmente utiliza la empresa Inversiones Fasulac Ltda., descrita en el capítulo de diagnóstico, se adecua a las necesidades y exigencias de la presente propuesta de mejora, sin embargo se cambiara la arena gruesa que se utiliza hoy en día en la empresa por la arena fina caracterizada previamente en el análisis experimental. Antes de tomar una decisión acerca de la elección de la arena, se tuvo en cuenta diferentes parámetros de elección del medio filtrante, como por ejemplo, que este medio debe tener un tamaño tal que permita obtener un efluente satisfactorio, que sea capaz de retener

la máxima cantidad de sólidos, ofrecer facilidad de limpieza y que tan económico es⁵⁰.

5.2.2 Cantidad de arena fina necesaria para el filtro. Partiendo de las dimensiones establecidas en el diagnóstico (0,7 m de ancho; 1,52m de largo; 0,5 m de profundidad del lecho) para cada una de las cámaras de filtración se puede obtener un volumen a llenar en cada una de las cámaras de 0,532 m³, se realiza el cálculo de la cantidad de arena en kg necesarias para utilizarlas en el filtro, para ello se procede con lo siguiente:

La densidad de la arena fina calculada experimentalmente fue: 1,4 g/mL, establecida según la **Ecuación 16**.

Teniendo el volumen del lecho y la densidad de la arena fina se procede a calcular la cantidad de arena fina en kg necesaria para colocar en una de las cámaras de filtración, por lo tanto.

Ecuación 18. Calculo de la cantidad de arena necesaria para las cámaras de arena de la empresa.

$$\begin{aligned}M &= \rho * V \\M &= 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,532 \text{ m}^3 \\M &= 744,8 \text{ kg de arena fina} \\M &= 744,8 \text{ kg} * 2 = 1\ 489,6 \text{ kg de arena fina}\end{aligned}$$

5.2.3 Dimensiones del lecho y del equipo de intercambio iónico. Para el diseño de este equipo se tuvo en cuenta el caudal manejado en la PTAR y las condiciones especiales que debe poseer el lecho de resina según el fabricante.

Según el fabricante, para esta resina en particular se tiene una necesidad de volúmenes de lecho por hora (en inglés “bed volumes per hour” BV/h) correspondiente a 10 litros de resina por 1 BV y presentan el siguiente ejemplo con un caudal recomendado de 8 BV/h.

$$8 \frac{\text{BV}}{\text{h}} * \frac{10 \text{ L de resina}}{1 \text{ BV}} = 80 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

⁵⁰ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Filtración. En: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. 2 da. ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. p. 241. ISBN 958-8060-66-4

Esto indica que para un caudal de tratamiento de 80 litros cada hora, es necesario un volumen de lecho de 10 litros de resina, teniendo en cuenta dicha relación, se despejara según el caudal manejado a diario en la PTAR que corresponde a 0,18 m³/h equivalentes a 180 L/h.

<p>Especificación de proveedor → 10 L de resina → $80 \frac{\text{L agua residual}}{\text{h}}$</p> <p>X L de resina → $180 \frac{\text{L agua residual}}{\text{h}}$</p> <p>X L de resina = 22,5 L de resina</p>
--

Se tiene entonces, que el volumen necesario para el lecho de resina de intercambio iónico es de 22,5 litros, pero, la presentación mínima de venta de la resina es un paquete de 25 kg, por lo cual en principio se optaría por este volumen para la operación. Por otro lado se debe tener en cuenta que toda la PTAR se encuentra sobredimensionada a un doble de su capacidad y en un futuro la empresa puede considerar aumentar su producción, lo cual repercutiría en el agua gastada y por ende en el agua residual, y como los otros equipos presentan dicha condición de sobredimensionamiento, se decide aumentar el volumen del lecho efectivo en un doble del calculado, es decir 50 litros de lecho lo que en principio con este mismo caudal no afecta la operación.

Para establecer las dimensiones de la columna de intercambio iónico, se comenzó estableciendo las medidas que debe poseer la porción del equipo que contendrá el lecho de la resina a partir de un volumen a almacenar de 50 litros. La altura recomendada como longitud mínima del lecho es de 0,61 metros⁵¹, la cual será tomada en cuenta para este diseño. Con la **Ecuación 19**, que indica el cálculo de volumen de un cilindro, se determinó el diámetro necesario de la columna de intercambio iónico según se muestra a continuación.

Ecuación 19. Volumen de un cilindro.

$V = \frac{\pi}{4} * D^2 * h$

Donde:

⁵¹ Universidad de los Andes de Venezuela. Op., cit. p. 15.

V= Volumen del cilindro (lecho formado por resina correspondiente a 0,05 m³)

D= Diámetro desconocido

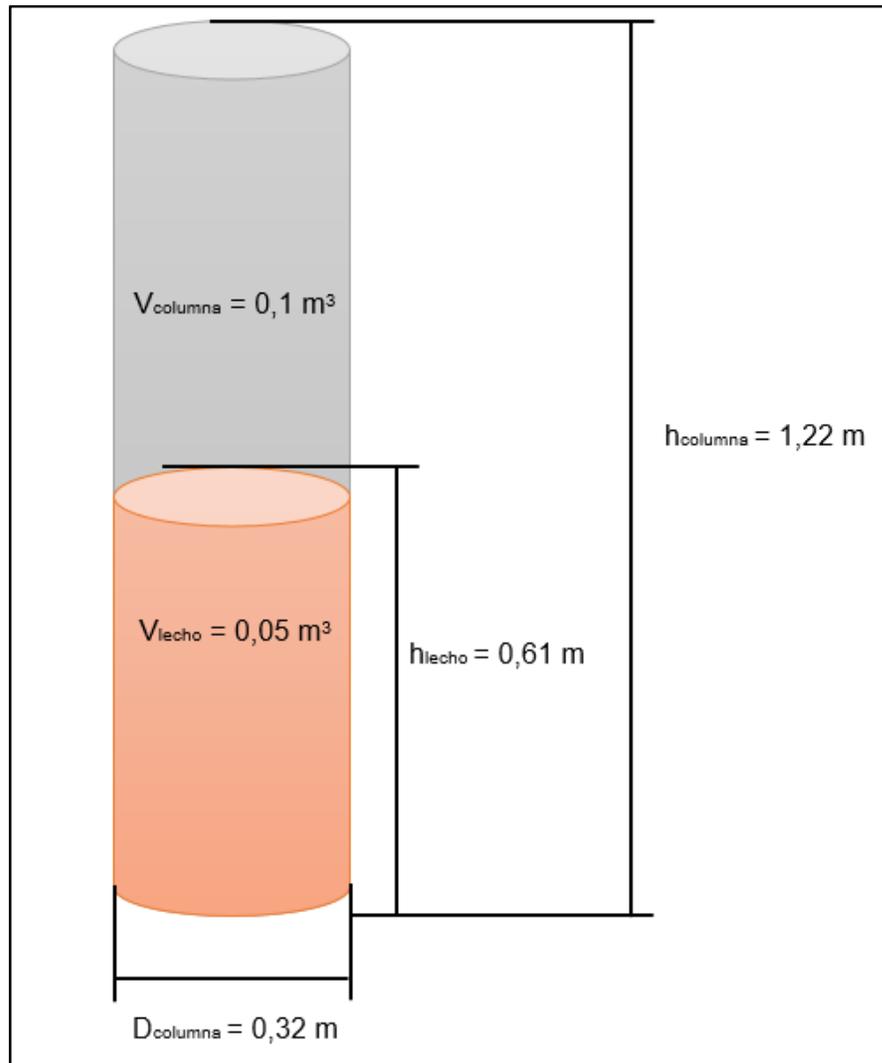
h= Altura del lecho ya establecida

Despejando y reemplazando se obtiene que.

$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * h}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,05 \text{ m}^3}{\pi * 0,61 \text{ m}}} = 0,32 \text{ m}$$

El volumen efectivo de la columna será el doble del determinado para el lecho, por lo tanto se obtiene que el volumen total será de 100 litros y de sus dimensiones solo se verá afectada la altura para lograr dicho volumen, es decir que se pasa de tener una altura de 0,61 m a tener una altura de 1,22 m. El material de este equipo será acero inoxidable por su similitud con los equipos de suavización de agua en los cuales se manejan diferentes iones que pueden afectar otros materiales. En la **Figura 27** se muestra la disposición de las dimensiones del intercambiador iónico junto con la representación de la presencia de la resina formando el lecho correspondiente.

Figura 27. Representación gráfica de la columna de intercambio iónico.



5.2.4 Dimensiones del tanque de salmuera (sustancia regenerante). En cuanto a este equipo, constará de un tanque de almacenamiento que permita la circulación de la salmuera al intercambiador iónico en el momento de la regeneración. Para determinar su volumen, también se consultó al fabricante de la resina, quien establece unos parámetros de caudal de esta sustancia, su forma de preparación y su requerimiento para el volumen de resina a regenerar.

La empresa proveedora de la resina recomienda una cantidad de sal de 160 g/L de resina, y esta cantidad de sal debe ser llevada a una solución de 10% p/v. El cálculo de la cantidad de sal necesaria para la salmuera requerida en la regeneración se muestra a continuación.

$$\frac{0,16 \text{ kg}}{1 \text{ L de resina}} * 50 \text{ L de resina} = 8 \text{ kg de sal}$$

Para obtener una solución al 10% en p/v a partir de 8 kg de sal, se debe disolver en 72 litros de agua, para así obtener un volumen efectivo de 80 litros de salmuera. Es preferible que el material de este tanque de almacenamiento sea plástico para la no generación de corrosión a futuro y por el menor costo de adquisición que este implica. En el mercado el tanque con el volumen más próximo al requerido es de 100 L, por lo cual se opta por este volumen.

5.2.5 Funcionamiento de intercambiador iónico y regeneración. Se debe tener en cuenta que el buen rendimiento del intercambio iónico dependerá en buena medida del correcto funcionamiento de la resina, lo cual será logrado a través de la adecuada carga, activación y operación, así, cumpliendo dichos parámetros se podrá obtener una alta remoción.

Para el cargamento de la resina el fabricante recomienda añadirla directamente de su embalaje para formar el lecho, lo cual evitará la contaminación de la misma que su vez generaría un mal desempeño. Para la primera carga es recomendado agregar agua limpia hasta la mitad del tanque dispuesto como intercambiador iónico y luego cargar todo el volumen de la resina, al tener esta disposición de resina con agua se empieza a hacer pasar agua en sentido ascendente para obtener la expansión de la resina, el pasaje del agua se llevara a cabo por 20 minutos o hasta que el efluente quede claro, al finalizar el tiempo determinado se corta el suministro de agua y se espera el asentamiento de la resina, en principio la resina no necesita de activación porque la misma ya viene activada. Este procedimiento inicial garantiza la limpieza de la resina de cualquier contaminante y con los cuidados adecuados tiene una vida útil de 3 años.

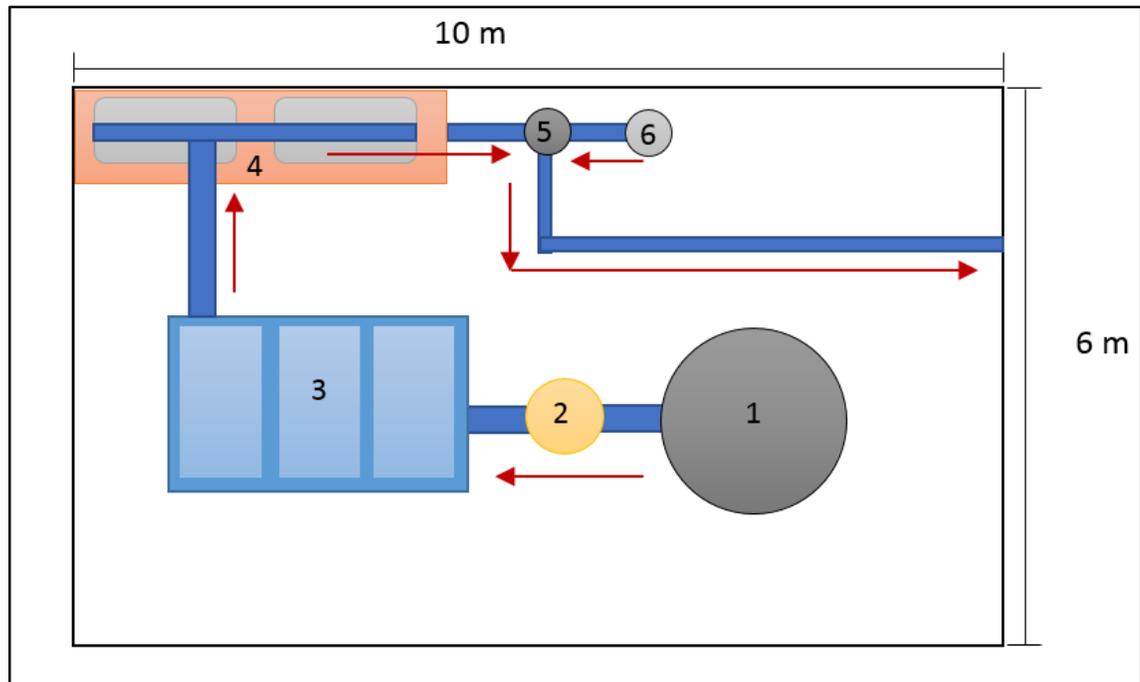
Luego de llevar a cabo la limpieza anteriormente descrita, se puede proceder a realizar el paso del agua residual con el caudal establecido, proceso del cual se obtienen dos corrientes, el agua tratada lista para ser dispuesta en el vertimiento correspondiente con los parámetros normalizados según la resolución a cumplir y una corriente cargada de los iones extraídos y la toda carga contaminante removida, dicha corriente es análoga a los lodos que se obtienen en el proceso de clarificación, solo que es más líquida que un lodo.

El proceso de regeneración se debe realizar cada vez que la resina se sature, esto se encuentra determinado por la capacidad útil de la resina, definida como el número de sitios donde se produce el intercambio y que en este caso en particular es del 70% de su capacidad total. Esta capacidad está dada en unidades de equivalentes por litro de resina (eq/L) y en el caso de esta resina aniónica

fuertemente básica, según sus especificaciones de fábrica, presenta una capacidad total de 0,6 eq/L. Para determinar con que cantidad de agua tratada se llega al punto de saturación, es necesario conocer la cantidad de equivalentes por litro contenidos en el agua a tratar de cada uno de los iones contaminantes, lo cual en este proyecto no se estableció, por ende, se pidió asesoría de la empresa proveedora de la resina y mediante el conocimiento del tipo de proceso, los datos del caudal y tipo de tratamiento realizado, recomendaron realizar la regeneración cada vez que se finalice el proceso de tratamiento, puesto que este tipo de resina, se regenera con mayor dificultad y no es completa su regeneración, lo cual implica que si se espera entre un tratamiento y otro, la cantidad de salmuera requerida sea mayor y el proceso sea más costoso. Los pasos a seguir para el proceso de regeneración constan de hacer pasar agua limpia en sentido ascendente, con el mismo caudal trabajado en el tratamiento, esto se debe hacer durante 15 minutos, luego se hace pasar el caudal establecido según la ficha técnica, correspondientes a 0,02 m³/h durante 30 minutos y por último se hace un enjuague lento por 30 minutos más con agua limpia al mismo caudal de la salmuera y un enjuague rápido con agua limpia por 10 minutos con el caudal del tratamiento correspondiente a 0,18 m³/h. Así entonces la resina queda regenerada y lista para su siguiente uso.

La disposición de la planta de tratamiento de aguas residuales con la instalación del intercambiador iónico y el tanque de almacenamiento de salmuera se muestra en la **Figura 28**.

Figura 28. Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales con disposición recomendada de las nuevas unidades de proceso.



Donde:

- 1: Tanque homogeneizador con 2 metros de diámetro.
- 2: Bomba centrífuga de alimentación al tanque clarifloculador.
- 3: Tanque clarifloculador con sus tres cámaras de coagulación, floculación y sedimentación con 3 metros de largo y 1,8 metros de ancho.
- 4: Filtro de arena con 2 cámaras de filtración, cada una con 1,52 metros de largo y 0,7 metros de ancho.
- 5: Intercambiador iónico con 0,3 metros de diámetro.
- 6: Tanque de almacenamiento de salmuera con 0,3 metros de diámetro.

6. ANALISIS DE COSTOS

Este capítulo describirá los costos implicados actualmente en el proceso de tratamiento de aguas residuales y los necesarios que se deben asumir, para poner en marcha la alternativa de mejora seleccionada, teniendo en cuenta precios vigentes de las sustancias que arrojaron mejores resultados durante la experimentación, como lo son el coagulante AC005, el floculante L1447M y el filtro de intercambio iónico. Además se presentaran las sanciones en las que tendría que incurrir la empresa siempre y cuando desobedezca la normativa vigente, y cuánto dinero se podría ahorrar si sigue con los parámetros establecidos por ley.

6.1 COSTOS DE LA PTAR EN LA ACTUALIDAD

Para esta parte del análisis se presentan los costos en que incurre actualmente la empresa en cuanto a operación, mantenimiento y sustancias utilizadas en todo lo que implica su funcionamiento.

6.1.1 Reactivos. Dentro de los compuestos químicos utilizados en el tratamiento actual que la empresa realiza, se encuentra el hidróxido de sodio para neutralizar, el sulfato de aluminio como coagulante. La arena utilizada actualmente en el filtro es arena de río y es cambiada aproximadamente 2 veces al año.

Según la persona encargada de la puesta en marcha de la PTAR, se utiliza por tratamiento 0,7 kg de soda caustica, 1,5 kg de sulfato de aluminio en un tratamiento y se debe tener en cuenta la cantidad de arena de río, que utilizan en cada una de las cámaras del respectivo filtro. Teniendo en cuenta que tal arena es cambiada 1 vez cada 6 meses y además de que el precio de 40 kg de arena de río es de \$6.000, se realiza una equivalencia de la cantidad de arena que se va desgastando, por cada tratamiento que la empresa realiza después de un día de producción, esto con el fin de calcular de manera global un costo de reactivos por tratamiento realizado. Partiendo de la **Ecuación 18**, en donde se calculó la cantidad de arena utilizada en las dos cámaras del filtro, se determinó que para las dos cámaras, son necesarias 1.489,6 kg, posteriormente se calcula la cantidad desgastada por día de tratamiento y partir de esto el costo diario de tal arena:

Ecuación 20. Arena que se desgasta cada vez que se realiza un tratamiento en las aguas residuales de la empresa.

$$\frac{1\ 489,6\ \text{kg arena}}{6\ \text{meses}} = 248,26\ \frac{\text{kg arena}}{\text{mes}} * \frac{\text{mes}}{13\ \text{días}} = 19,1\ \frac{\text{kg arena}}{\text{día tratamiento}}$$

Según el resultado anterior y conociendo que 40 kg de arena rio cuesta \$6 000, se realiza el cálculo del precio de 19,1 kg de arena,

$$\begin{aligned} \$6\,000 &\rightarrow 40\text{ kg} \\ \$X &\rightarrow 19,1\text{ kg} \\ X &= \$2.865 \end{aligned}$$

En la siguiente tabla se muestra el costo de reactivos por tratamiento que la empresa paga, con base a la cotización mostrada en el **ANEXO J**.

Tabla 27. Costo total de reactivos por tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa Inversiones Fasulac Ltda.

Compuesto químico	Dosis por tratamiento (kg)	Número de tratamientos por día	Precio del compuesto por kg	Precio por tratamiento diario
Hidróxido de sodio	0,7	1	\$3 558,25	\$2 490,8
Sulfato de aluminio	1,5	1	\$2 303,51	\$3 455,27
Arena de rio	19,1	1	\$150	\$2 865
Costo total de reactivos por tratamiento				\$8 811,07

Como la empresa tiene jornadas de producción y por ende de limpieza, 13 días cada mes, se procede al cálculo del costo mensual de los reactivos que se utilizan actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales de la compañía.

Ecuación 21. Calculo mensual de los reactivos que se utilizan en la compañía con tratamiento actual.

$$\frac{\$8\,811,07}{\text{día de tratamiento}} * \frac{13\text{ días}}{\text{mes}} = \frac{\$114\,543,91}{\text{mes}}$$

6.1.2 Mano de obra. El mantenimiento y funcionamiento de la PTAR está encargado a un único operario que también cumple funciones de oficios varios dentro de la empresa, por lo tanto se tendrán en cuenta el costo de la hora laboral del empleado y las horas invertidas en la PTAR para determinar este parámetro. El

salario mensual del empleado en cuestión es de \$1 100 000, tiene un horario laboral de 8 horas diarias para lo cual se obtiene lo siguiente:

$$\frac{\$1\ 100\ 000\ \text{mes}}{26\ \text{días}} * \frac{1\ \text{día}}{8\ \text{h}} = \frac{\$5\ 288}{1\ \text{h laboral}}$$

Teniendo en cuenta que para el mantenimiento de la planta y revisión de su funcionamiento gasta aproximadamente 3 horas los días en que corresponden dichas funciones, se obtiene el salario del empleado por concepto de manejo de la PTAR de la siguiente forma:

$$\frac{\$5\ 288}{1\ \text{h laboral}} * \frac{3\ \text{h}}{1\ \text{día}} * \frac{13\ \text{días}}{1\ \text{mes}} = \frac{\$206\ 232}{1\ \text{mes}}$$

6.1.3 Gasto energético consumido por las bombas. La planta cuenta con 4 bombas. La primera bomba es una eléctrica sumergible para alimentación al tanque de igualación-homogenización con control automático de nivel para encendido y apagado (bomba 1), la otra bomba es una eléctrica centrífuga para alimentación al tanque clarifloculador (bomba 2), por último se cuenta con dos bombas dosificadoras eléctricas que sirven para alimentar al tanque clarifloculador de coagulante y floculante (bomba 3 y 4) sin embargo una de estas últimas bombas no se utiliza porque la empresa no aplica floculante a su tratamiento actual.

En la siguiente tabla se muestran los precios por kWh de cada una de las bombas según su sea su potencia, estos precios son publicados por la empresa Codensa.

Tabla 28. Costo por kWh de cada bomba que se utilizan en la empresa Inversiones Fasulac Ltda.

Bomba	Potencia (kW)	Costo (\$/kWh)
Bomba sumergible, alimentación para el tanque de igualación (bomba 1)	0,373	432,9877
Bomba alimentación clarifloculador (bomba 2)	0,373	432,9877
Bomba dosificadora 1 (bomba 3)	0,11	432,9877
Bomba dosificadora 2 (bomba 4) NO SE UTILIZA	0,11	432,9877

Como se puede apreciar en la tabla anterior, las bombas 1 y 2 utilizan la misma potencia entre sí. Teniendo en cuenta que la potencia de las bombas 1 y 2, es de 0,5 H.P. es decir 372,8 W y que la capacidad máxima de dosificación de esas

bombas es de 480 L/h se realiza el siguiente calculo, para conocer cuánto tiempo será necesaria que las bombas 1 y 2 permanezcan encendidas, partiendo de que el caudal que maneja la empresa para el tratamientos de agua es de 180 L/h, es decir 1 440 L/día de trabajo:

$$\begin{aligned} 1 \text{ h} &\rightarrow 480 \text{ L} \\ X \text{ h} &\rightarrow 1\,440 \text{ L} \\ X \text{ h} &= 3 \text{ h} \end{aligned}$$

Por lo tanto las bombas 1 y 2 deberán estar encendidas durante 3 horas cuando se realice el tratamiento de aguas residuales, con el fin de poder transportar toda el agua residual industrial necesaria y continuar con el tratamiento de las mismas.

Se realiza un proceso similar para poder calcular el tiempo de encendido de la bomba dosificadora de coagulante (bomba 3), teniendo en cuenta que esta bomba alcanza una potencia de 110 W, que la capacidad máxima de dosificación es de 17,4 L/h y que se necesita transportar 15 L de coagulante durante el tratamiento, se halla lo siguiente:

$$\begin{aligned} 1 \text{ h} &\rightarrow 17,4 \text{ L} \\ X \text{ h} &\rightarrow 15 \text{ L} \\ X \text{ h} &= 0,86 \text{ h} \end{aligned}$$

Esto quiere decir que la bomba dosificadora estará encendida por 52 minutos para poder transportar la cantidad de coagulante necesaria.

Con los datos anteriores se procede a calcular el consto mensual de funcionamiento de cada uno de las bombas:

- Bombas 1 y 2:

$$\frac{3 \text{ h}}{\text{dia laboral}} * \frac{13 \text{ días laborales}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,37285 \text{ kW}}{\text{h}} * \frac{\$ 432,9877}{\text{kW}} = \frac{\$ 6\,296,14}{\text{mes}}$$

- Bomba 3:

$$\frac{0,86 \text{ h}}{\text{dia laboral}} * \frac{13 \text{ días laborales}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,11 \text{ kW}}{\text{h}} * \frac{\$ 432,9877}{\text{kW}} = \frac{\$ 532,49}{\text{mes}}$$

En conclusión y de acuerdo con lo anterior, el gasto energético consumido por las bombas mensualmente da un total de \$13 124,77.

6.1.4 Lavado de equipos de la planta de tratamiento. Semanalmente a los equipos que componen la planta de tratamiento de agua residual, se les realizan un lavado con agua y jabón, el agua que se utiliza para esta parte del proceso es agua lluvia que se recolecta en tanques de almacenamiento. Esta agua es recirculada gracias a unas tuberías que se encuentran en la planta.

Como esta agua es agua lluvia, no genera un costo adicional para la empresa, sin embargo si se debe tener en cuenta el jabón utilizado al momento de realizar el análisis de costos.

El jabón que se utiliza es en polvo de la marca DERSA (detergentes S.A.) y se adquiere en la presentación de 1 kg, se utilizan 0,7 kg por lavada y el precio en el mercado de este jabón aproximadamente es de \$4.700 cada kg. Teniendo en cuenta que se realiza una lavada de equipos en la PTAR cada semana, se realiza el cálculo del costo del jabón por cada mes:

Ecuación 22. Calculo de la cantidad de detergente necesaria para el lavado de equipos de la planta de tratamiento de agua residual por mes.

$$\frac{0,7 \text{ kg}}{\text{semana}} * \frac{\$4 700}{1 \text{ kg}} * \frac{4 \text{ semana}}{1 \text{ mes}} = \frac{\$13 100}{\text{mes}}$$

Por lo tanto mensualmente la empresa destina para el lavado de equipos un valor de \$13 100.

6.1.4 Sanciones. A partir del marco legal, se puede establecer a cuánto asciende la suma que debería pagar la empresa a los entes reguladores por el incumplimiento de la normatividad ambiental. La sanción correspondiente está centrada en la generación de vertimiento con parámetros fuera de lo establecido en la resolución 0631 de 2015 y se calcula según la **Ecuación 23**.

Ecuación 23. Cálculo de tasación de multa.

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

Donde:

B: Beneficio ilícito

α : Factor de temporalidad

i: Grado de afectación ambiental y/o evaluación de riesgo

A: Circunstancias agravantes y atenuantes

Ca: Costos asociados

Cs: Capacidad socioeconómica del infractor

Beneficio ilícito (B): Es la ganancia que obtiene el infractor, se obtiene al relacionar la ganancia producto de la infracción respecto a la capacidad de detección de la misma. La **Ecuación 24** muestra la relación entre los factores nombrados.

Ecuación 24. Relación para el cálculo del beneficio ilícito.

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

Donde:

Y: Ingresos generados por producción al día

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

-Capacidad de detección baja: $p=0,4$

-Capacidad de detección media: $p=0,45$

-Capacidad de detección alta: $p=0,5$

En este caso, la empresa genera ingresos diarios en promedio de \$18 000 000 y la capacidad de detección que tendría la autoridad ambiental en este caso sería alta, puesto que cada año se debe solicitar un permiso de vertimientos, para lo cual se obtendría un beneficio ilícito:

$$|B| = \frac{\$18\,000\,000 * (1 - 0,5)}{0,5} = \$18\,000\,000$$

Grado de afectación ambiental (i): Se deben tener en cuenta unas calificaciones específicas en este ítem, según criterios y atributos presentados por la resolución para obtener una estimación de la importancia de la afectación ambiental, para el caso de Inversiones Fasulac Ltda. la **Tabla 29** muestra la calificación otorgada a cada una de las variables que son incluidas para determinar la importancia de la afectación ambiental.

Tabla 29. Valores otorgados a los atributos considerados por la resolución para calificación de afectación ambiental en el caso de Inversiones Fasulac Ltda.

Atributos	Definición	Ponderación
Intensidad (IN)	Grado de incidencia de la acción sobre el bien en protección	4
Extensión (EX)	Área de influencia del impacto	1
Persistencia (PE)	Tiempo de permanencia del efecto	1
Reversibilidad (RV)	Capacidad del bien de protección de volver a condiciones iniciales	1
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 1º 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.

Luego de establecer la calificación, se procede a determinar la importancia de la afectación de acuerdo a la **Ecuación 25**.

Ecuación 25. Relación para determinación de la importancia de la afectación.

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

Reemplazando se obtiene que:

$$I = (3 * 4) + (2 * 1) + 1 + 1 + 1 = 17$$

Según el resultado obtenido se puede establecer como medida cualitativa 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 con la siguiente ecuación:

Ecuación 26. Relación para establecer las unidades monetarias correspondientes a la importancia de la afectación.

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

Donde:

i: Valor monetario de la importancia de la afectación

SMMLV: Salario mínimo legal vigente

I: Importancia de la afectación

Reemplazando se tiene que:

$$i = (22,06 * \$689\,454) * 17 = \$258\,559\,039$$

Factor de temporalidad (α): Esta variable se calcula aplicando la relación mostrada en la **Ecuación 27**.

Ecuación 27. Relación para hallar factor de temporalidad.

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

Donde:

d: número de días continuos o discontinuos durante los cuales sucede el ilícito

En el caso puntual de la empresa, al solo generar vertimiento día de por medio con respecto a su labor, se tienen en cuenta 156 días de afectación, para lo cual reemplazando se obtiene un valor de la variable alfa (α) de:

$$\alpha = \frac{3}{364} * 156 + \left(1 - \frac{3}{364}\right) = 2,28$$

Evaluación de riesgo (r): este parámetro no será incluido puesto que está limitado para las infracciones que no están concretadas como afectaciones directamente, y en este caso la generación del vertimiento si es consecuente con una afectación.

Circunstancias agravantes o atenuantes (A): no se considera esta variable, porque la empresa no incurre en ninguna de las dos características.

Costos asociados (Ca): estos costos están relacionados directamente con los gastos en los que incurre la autoridad ambiental durante el proceso sancionatorio, pero al no estar en el proceso aun directamente estos costos son despreciables para este caso.

Capacidad socioeconómica (Cs): en este ítem se hace una diferenciación entre personas naturales, jurídicas y entes territoriales, para este caso puntual se tiene una persona jurídica, con clasificación de tamaño de empresa mediana, a la cual según la ponderación de este fragmento de la resolución le corresponde una calificación de 0,75.

La **Tabla 30** muestra los valores otorgados a cada uno de los parámetros tenidos en cuenta para lograr la tasación monetaria de la multa en cuestión.

Tabla 30. Recopilación de valores otorgados a las variables necesarias para cuantificar la multa.

Variable	Valor
Beneficio ilícito (B)	\$18 000 000
Factor de temporalidad (α)	2,28
Grado de afectación (i)	\$258 559 039
Circunstancias agravantes y atenuantes (A)	NA
Costos asociados (Ca)	NA
Capacidad socioeconómica (Cs)	0,75

Reemplazando en la **Ecuación 23** se tiene que:

$$Multa = \$18\,000\,000 + [(2,28 * \$258\,559\,039) * (1 + 0) + 0] * 0,75$$

$$Multa = \$460\,135\,957$$

6.1.5 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 causen una afectación ambiental y su tiempo es definido según el ente regulador competente, que en este caso es la secretaria distrital de medio ambiente. Este tiempo se puede extender hasta que la empresa realice las acciones pertinentes y demostrables de solución ante la afectación, se entiende también que esta acción es desencadenada por la reiteración de llamados de atención y es la medida cautelar luego de aplicar una multa.

En el caso puntual de la empresa, se puede asumir que en el momento en el que les apliquen una sanción al no implementar acciones correctivas a su problema de incumplimiento de la normatividad vigente, se procederá a realizar el cierre de la empresa, lo cual generaría pérdidas de producción. El cierre de un día equivale a una pérdida de \$18 000 000 según información proporcionada por la empresa, por

otra parte la implementación de la mejora teniendo en cuenta la espera de los reactivos y los equipos, su tiempo de instalación y puesta en marcha sería de 4 meses, esto generaría una pérdida total de \$1 872 000 000.

6.1.6 Análisis de costos del funcionamiento actual de la empresa. Luego de establecer todos los costos en los que incurriría la empresa mensualmente, se presenta los datos recolectados en la **Tabla 31**.

Tabla 31. Recopilación de costos mensuales actuales en la PTAR.

Parámetro	Costo mensual (\$)
Reactivos	\$ 114 543
Mano de obra	\$ 206 232
Gasto energético	\$ 13 124
Lavado de PTAR	\$ 13 100
Costo total mensual	\$ 347 000

Al mantener las condiciones actuales de la PTAR, se continua infringiendo la resolución 0631 de 2015, por lo tanto son aplicadas las sanciones calculadas con anterioridad y expuestas en la **Tabla 32**.

Tabla 32. Costos por sanciones y sellamiento.

Parámetro	Costo (\$)
Sanción	\$460 135 957
Sellamiento	\$1 872 000 000

6.2 COSTOS DE LA IMPLEMETANCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

En esta sección se muestra la descripción de los costos involucrados en la implementación de la alternativa de mejora seleccionada.

6.2.1 Reactivos presentes en la propuesta de mejora. Con base en el desarrollo experimental y su correspondiente escalado, se logró establecer la cantidad necesaria de neutralizante, coagulante y floculante, por otro lado también se logró determinar el volumen necesario de resina para el intercambio iónico y la cantidad de sal oportuna para realizar la regeneración a partir de la ficha técnica de la resina aniónica utilizada, y se estableció el costo de la arena fina a utilizar en la propuesta de mejora. La **Tabla 33** muestra el costo de los reactivos que son usados en el tratamiento diario.

Tabla 33. Costos de reactivos por tratamiento diario con la implementación de la propuesta de mejora.

Sustancia	Dosis por tratamiento (kg)	Tratamientos por día	Precio de reactivos (\$/kg)	Precio por tratamiento
Hidróxido de sodio	0,3	1	\$3 558	\$1 152
Policloruro de aluminio	1,8	1	\$1 800	\$3 240
Floculante L-1547M	7,2x10 ⁻³	1	\$12 000	\$86,4
Sal para solución de regeneración	8,0	1	\$540	\$4 320
Costo total de reactivos por día de tratamiento				\$8 798,4

La empresa realiza tratamiento de aguas residuales 13 días al mes, con lo cual obtenemos el costo mensual del gasto de los reactivos con la **Ecuación 28**.

Ecuación 28. Calculo mensual de los reactivos que se utilizarían con implementación de la propuesta.

$$\frac{\$8\,798,4}{\text{día de tratamiento}} * \frac{13 \text{ días}}{\text{mes}} = \frac{\$114\,379,2}{\text{mes}}$$

La **Tabla 34** muestra los costos de la resina y la arena respecto a las cantidades necesarias y su vida útil para posteriormente ser analizadas. En el caso de la arena, según la cotización realizada, la presentación de 40 kg tiene un costo de \$4.500, para lo cual se establece el precio por cada kilogramo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} 40 \text{ kg} &\rightarrow \$4\,500 \\ 1 \text{ kg} &\rightarrow \$ X \\ 1 \text{ kg} &= \$ 112,5 \end{aligned}$$

Tabla 34. Costos de componentes con vida útil extendida necesarios para la implementación de la propuesta de mejora

Sustancia	Cantidad necesaria a adquirir (kg)	Vida útil (años)	Precio (\$/kg)	Precio por tratamiento
Resina de intercambio iónico	50	3	\$143 415 ⁵²	\$7 170 750
Arena fina (Arena de pozo)	1 489,6	0,5	\$112,5	\$167 580
Costo total de componentes a adquirir				\$7 338 330

6.2.2 Mano de obra necesaria para propuesta de mejora. El mantenimiento y funcionamiento de la PTAR seguirá a cargo del mismo operario, pero ahora, al contar con una unidad nueva, se consultó con la empresa si el empleado podía asumir más horas en el manejo de la PTAR, a lo cual lo directivos dieron una respuesta positiva siempre y cuando él no descuide sus otras funciones y se comprometieron a otorgarle la capacitación requerida para el nuevo manejo de la PTAR junto con un aumento en el sueldo como motivación a la adquisición de estas nuevas tareas, su salario mensual a partir de la implementación de la propuesta de mejora será de \$1 250 000 con la misma carga horaria laboral, para ello se obtiene que una hora laboral de este empleado ahora será dada de la siguiente forma:

$$\frac{\$1\,250\,000 \text{ mes}}{26 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} = \frac{\$6\,009}{1 \text{ h laboral}}$$

Teniendo en cuenta que para el mantenimiento de la planta y revisión de su funcionamiento ahora gastará aproximadamente 5 horas los días en que corresponden dichas funciones, se obtiene el salario del empleado por concepto de manejo de la PTAR de la siguiente forma:

$$\frac{\$6\,009}{1 \text{ h laboral}} * \frac{5 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{13 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \frac{\$390\,585}{1 \text{ mes}}$$

⁵² PUROLITE DO BRASIL LTDA. Tanex, ion exchange resin. [Electronic(1)]. São Paulo. [Consultado el Octubre/192016]. Disponible en: http://purolite.com.br/downloads/Literaturas/Espanhol/Tanex(esp).pdf

6.2.3 Gasto energético consumido en la implementación de la mejora. Como ya se había especificado con anterioridad la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con 4 bombas. Las bombas 1 y 2 que corresponden a la alimentación del tanque de homogenización y al tanque clarifloculador respectivamente, seguirán en uso de la misma forma que lo hacen actualmente, y por el mismo tiempo establecido, por otra parte se habían nombrado 2 bombas dosificadoras de las cuales solo se utilizaba la que correspondía al coagulante, pero con la implementación de la mejora será necesario el uso de las bombas 3 y 4 para dosificar el coagulante y el floculante respectivamente.

Las bombas 1 y 2 utilizan la misma potencia, correspondiente a 372,8 W y su capacidad máxima de dosificación es de 480 L/h, para lo cual se realiza el siguiente calculo, para conocer cuánto tiempo será necesario que las bombas 1 y 2 permanezcan encendidas, partiendo de que el caudal que maneja la empresa para el tratamiento de agua es de 180 L/h, es decir 1440 L/día de trabajo:

$1 h \rightarrow 480 L$ $X h \rightarrow 1\ 440 L$ $X h = 3 h$
--

Por lo tanto las bombas 1 y 2 deberán estar encendidas durante 3 horas cuando se realice el tratamiento de aguas residuales, con el fin de poder transportar toda el agua residual industrial necesaria y continuar con el tratamiento de las mismas.

Se realiza un proceso similar para poder calcular el tiempo de encendido de la bomba dosificadora de coagulante (bomba 3), teniendo en cuenta que esta bomba alcanza una potencia de 110 W, que la capacidad máxima de dosificación es de 17,4 L/h y que se necesitara transportar 18 litros de la solución del coagulante durante el tratamiento, lo cual arroja los siguiente resultados:

$1 h \rightarrow 17,4 L$ $X h \rightarrow 18 L$ $X h = 1,03 h$
--

También se debe tener en cuenta que con la implementación de la alternativa de mejora es necesario hacer uso de la bomba 4 para dosificación del floculante, esta bomba cuenta con una potencia de 110 W y tiene una capacidad máxima de 17,4 L/h y debe transportar una cantidad de 7,2 litros de solución de floculante en el transcurso del tratamiento, para lo cual se obtiene el siguiente resultado:

$$1 h \rightarrow 17,4 L$$

$$X h \rightarrow 7,2 L$$

$$X h = 0,41 h$$

Esto quiere decir que la bomba dosificadora 3 estará encendida por 62 minutos para poder transportar la cantidad de coagulante necesaria y la bomba dosificadora 4 estará encendida por 25 minutos para transportar la cantidad de floculante requerida en el tratamiento.

Con los datos anteriores se procede a calcular el costo mensual de funcionamiento de cada una de las bombas:

- Bombas 1 y 2:

$$\frac{3 h}{\text{dia laboral}} * \frac{13 \text{ días laborales}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,37285 \text{ kW}}{h} * \frac{\$ 432,9877}{\text{kW}} = \frac{\$ 6 296,14}{\text{mes}}$$

- Bomba 3 :

$$\frac{1,03 h}{\text{dia laboral}} * \frac{13 \text{ días laborales}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,11 \text{ kW}}{h} * \frac{\$ 432,9877}{\text{kW}} = \frac{\$ 637,75}{\text{mes}}$$

- Bomba 4 :

$$\frac{0,41 h}{\text{dia laboral}} * \frac{13 \text{ días laborales}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,11 \text{ kW}}{h} * \frac{\$ 432,9877}{\text{kW}} = \frac{\$ 253,86}{\text{mes}}$$

En conclusión y de acuerdo con lo anterior, el gasto energético consumido por las bombas mensualmente da un total de \$13.483,89.

6.2.4 Adquisición de equipos e instalación. Debido a que se va a incluir una nueva etapa de proceso, es necesario contar con el equipo de intercambio iónico y del tanque de almacenamiento de la salmuera que cumple la función de regeneración de la resina aniónica fuertemente básica. La **Tabla 35** muestra los costos de instalación de estos dos equipos en la PTAR.

Tabla 35. Costo de adquisición e instalación de equipos.

Equipo	Costo
Intercambiador iónico	\$40 179 616
Tanque de almacenamiento de salmuera	\$38 500
TOTAL (IVA Incluido 16%)	\$40 218 116

6.2.5 Lavado de equipos de la PTAR con la propuesta de mejora. Los lavados se seguirán efectuando semanalmente con el mismo sistema de reutilización de agua lluvia para su lavado y el mismo jabón, pero al contar con una nueva unidad de proceso, a pesar de que el tanque de intercambio iónico no necesita lavado, el tanque de almacenamiento de la salmuera si debe recibir un mantenimiento de forma semanal y tendrá una repercusión en la cantidad de jabón a usar en un aumento de 0,2 kg respecto a la cantidad usada sin la implementación de la mejora. Teniendo en cuenta esta consideración se realiza el cálculo del costo del jabón por cada mes:

Ecuación 29. Calculo de la cantidad de detergente necesaria para el lavado de equipos de la PTAR por mes con implementación de mejora.

$$\frac{0,9 \text{ kg}}{\text{semana}} * \frac{\$4 700}{1 \text{ kg}} * \frac{4 \text{ semana}}{1 \text{ mes}} = \frac{\$16 920}{\text{mes}}$$

Por lo tanto mensualmente la empresa destina para el lavado de equipos un valor de \$16 920.

6.2.6 Análisis de costos con la implementación de la mejora. La **Tabla 36** muestra los costos de cada uno de los componentes a evaluar para la implementación la alternativa desarrollada. Dentro de la mejora, se deben considerar los costos en los que se incurre mensualmente por mantenimiento y operación de la PTAR, también es necesario tener en cuenta los costos de los componentes con vida útil de mayor duración a una mensualidad y por último la instalación de los equipos de la nueva unidad de operación.

Tabla 36. Costos a considerar con la implementación de la mejora en la PTAR.

Tipo de costo	Parámetro	Costo (\$)
Costos a tener en cuenta mensualmente	Reactivos	\$ 114 379
	Mano de obra	\$ 390 585
	Gasto energético	\$ 13 483
	Lavado de PTAR	\$ 16 920
	Costo total mensual	\$ 535 367
Costo de adquisición por cada tres años	Resina de intercambio iónico	\$7 170 750
Costo de adquisición por cada seis meses	Arena fina (arena de pozo)	\$167 580
Costo de adquisición e instalación de equipos	Intercambiador iónico	\$40 179 616
	Tanque de almacenamiento de salmuera	\$38 500

6.3 FLUJO DE CAJA

En la **Tabla 37** y en la **Tabla 38** se muestran el flujo de caja tanto del tratamiento actual de la empresa y de la propuesta de mejora, estos informes financieros presentan en detalle los egresos que tienen la empresa en la utilización de la PTAR en un periodo de 1 año. Debido a que un sistema de tratamiento de aguas residuales no representa ningún tipo de ingreso directo, por lo tanto en los siguientes flujos de caja solamente se tendrá en cuenta los egresos generados por cada una de las propuestas.

Tabla 37. Flujo de caja para el sistema de tratamiento de aguas residuales actual de la compañía.

Detalles 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	\$ -	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 114.543	\$ 1.374.516
Mano de obra	\$ -	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 206.232	\$ 2.474.784
Gasto energético	\$ -	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 13.124	\$ 157.488
Lavado de equipos	\$ -	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 13.100	\$ 157.200
Posibles sanciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 460.135.957	\$ -	\$ -	\$ 1.872.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2.332.135.957
Total egresos	\$ -	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 460.482.956	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 1.872.346.999	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 346.999	\$ 2.336.299.945

Tabla 38. Flujo de caja para el sistema de aguas residuales de la propuesta de mejora.

Detalles 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	\$ 47.556.446	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 167.580	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 47.724.026
Reactivos	\$ -	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 114.379	\$ 1.372.548
Mano de obra	\$ -	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 390.585	\$ 4.687.020
Gasto energético	\$ -	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 13.483	\$ 161.796
Lavado de equipos	\$ -	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 16.920	\$ 203.040
Total egresos	\$ 47.556.446	\$ 535.367	\$ 702.947	\$ 535.367	\$ 54.148.430									

6.3.1 Análisis de los resultados de los flujos de caja. Como se puede evidenciar en las figuras anteriores, es mucho más factible aplicar la propuesta de mejora, expuesta en el presente trabajo de grado, pues las sanciones en que la empresa incurriría por no cumplir la normatividad vigente son altamente considerables y perjudicaría las finanzas de la empresa, mientras que los costos implicados en el tratamiento terciario son mucho menores que el del tratamiento realizado actualmente en la compañía. Exactamente los costos mostrados en la **¡Error! No e encuentra el origen de la referencia.** que representan el tratamiento de mejora, equivalen a tan solo el 2,3% del costo de los egresos mostrados en la **¡Error! No e encuentra el origen de la referencia.** que corresponderían a seguir realizando el tratamiento sin ningún cambio.

7. CONCLUSIONES

- El sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Inversiones Fasulac Ltda. recibe un único caudal promedio de agua contaminada de $1,00 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. La planta cuenta con un sistema de pre-tratamiento y un tratamiento primario dichos procesos se encuentran sobredimensionados, son funcionales y no tienen características que impidan el tratamiento del agua residual industrial. Mediante el seguimiento realizado, se pudo determinar que la problemática radica en características operativas del sistema de tratamiento de agua residual y la caracterización presentada por el laboratorio Analquim Ltda. en junio de 2016, arrojó en sus resultados el incumplimiento de 3 parámetros (DBO5, DQO y grasas y aceites) dentro de los 9 exigidos por la resolución 0631 del 2015, lo cual exalta la necesidad de una mejora en la PTAR para cumplir su función de manera efectiva.
- A partir de la revisión bibliográfica efectuada de forma consecuente al diagnóstico, se desarrolló una matriz de selección con 3 opciones posibles a evaluar, a través de este método, se logró establecer que la alternativa de mejora más propicia es la modificación de la clarificación, que abarcaba el monitoreo de la neutralización y el cambio de los reactivos en la coagulación y floculación, esta alternativa fue la seleccionada debido a que obtuvo el mejor puntaje en cuanto a viabilidad técnica, operativa y económica.
- El desarrollo experimental de la alternativa seleccionada como propuesta de mejora, permitió establecer que el coagulante y floculante con mejor rendimiento para la operación de clarificación son el Policloruro de aluminio y el polímero de carga aniónica baja de alto peso molecular con referencia L-1547M respectivamente ambos del proveedor Lipesa S.A. El agua tratada en el ensayo de jarras con los reactivos de clarificación fue llevada a laboratorio externo para el análisis fisicoquímico de los parámetros problema, los cuales arrojaron como resultado porcentajes de remoción de 96,81% para grasas y aceites, 82,92% para la DBO5 y un 68,24% para la DQO y , aunque son porcentajes altos, no fueron suficientes para dar cumplimiento a la normatividad vigente, por tal motivo, se decidió desarrollar como método complementario el intercambio iónico con una resina aniónica fuertemente básica, de la cual nuevamente se obtuvo un agua tratada que fue llevada a análisis y se logró obtener resultados de remoción satisfactorios para dar cumplimiento a la normatividad vigente,

estos fueron de 98,65% para grasas y aceites, 98,17% para la DBO5 y un 98,57% para la DQO.

- A partir del análisis financiero realizado, se puede establecer que no existe un ingreso directo relacionado con la PTAR, por lo cual, una mejora en la misma tampoco repercute en una ganancia, pero si es un beneficio significativo para la empresa realizar la implementación de la alternativa seleccionada en este proyecto para evitar cobro de multas y cese de operaciones que repercutirían en un alto costo, la inversión de \$54´148.430 realizada en el primer año que abarca implementación, operación y mantenimiento de la propuesta de mejora representa solo el 2,3% del desembolso que se debería hacer por razones sanciones y sellamiento del establecimiento a raíz de continuar con el funcionamiento actual de la PTAR que no cumple la normatividad vigente.

8. RECOMENDACIONES

- Instalar medidores de caudal en los diferentes usos del agua en las dependencias de la empresa, para tener un control más riguroso del agua residual industrial y domestica que permita la optimización de su gasto.
- Realizar análisis periódicos de la calidad del agua del vertimiento para llevar un monitoreo detallado de su funcionamiento que permita el correcto uso de sus unidades de proceso y evitar dosificaciones erradas o fallos operacionales.
- Evaluar la implementación de retro lavado en la etapa de filtración para prolongar el tiempo de vida útil de la arena de filtración.
- Analizar la composición del lodo generado en la etapa de clarificación para realizar su disposición de manera sostenible.
- Evaluar una posible recirculación del agua tratada en funciones como descarga de inodoros o lavado de pisos para disminuir el gasto del recurso hídrico y obtener un ahorro según el volumen a utilizar.
- Hacer un estudio de la caída de presión en la unidad de filtración con la implementación de la nueva arena para determinar el tiempo de residencia del agua en esta etapa del proceso, en caso tal de obtener un tiempo prolongado en las cámaras de filtración, se recomienda evaluar el uso de una bomba con su correspondiente validación de remoción.
- Teniendo en cuenta que el proceso de intercambio iónico genera una corriente de agua tratada que es vertida al alcantarillado, y otra corriente rica en los iones extraídos del agua en mención, se recomienda evaluar la adecuada disposición de esta última corriente.
- Validar la cantidad de resina a usar en el intercambio ionico a nivel laboratorio para no tener como único referente el otorgado por el proveedor de la misma.

BIBLIOGRAFIA

ANALIZA CALIDAD ASESORES. Tratamiento De Aguas Residuales Industriales. [Electronic (1)]. 20 de Marzo de 2015. [Consultado el Julio/282016]. Disponible en: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

ANDIA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento De Agua Coagulación Y Floculación. [Electronic (1)]. 8 de Abril de 2000. [Consultado el Agosto/032016]. Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

BARÓN QUEVEDO, Christian Giovanni. Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Productos Lácteos Pasco. Bogotá D. C.: Fundación Universidad de América, 2013. p. 65.

BOHNETT, David y REZNER, John. Filtración En Grava Y Arena. [Electronic (1)]. Octubre del 2009. [Consultado el Agosto/082016]. Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. 5 de Octubre. Vol. 78, no. 165, p. 3

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: en instituto. 2008.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma, y estructura. NTC 5613. Bogotá: el Instituto. 2008.

_____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto. 1998.

MALDONADO YACTAYO, Víctor. Sedimentación. En: [Anónimo] Tratamiento Del Agua Para Consumo Humano. 1 ra ed. Lima, Perú: Organización panamericana de la salud, 2004. 4 p.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS. Sección II. (Noviembre, 2000). Dirección de agua potable y saneamiento básico. Bogotá D.C., 2000. No. Título E

[Anónimo] Por El Cual Se Reglamenta Parcialmente El Título I De La Ley 09 De 1979, Así Como El Capítulo II Del Título VI - Parte III - Libro II Y El Título III De La

Parte III Libro I Del Decreto 2811 De 1974 En Cuanto a Los Usos Del Agua Y Residuos Líquidos. Bogotá D.C., 26, Junio, 1984. No. Decreto 1594

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Toma De Muestras De Aguas Residuales. (10 de Septiembre). Bogotá D.C., 2007. No. TIO 187

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Política Nacional De Producción Más Limpia. Bogotá D.C., 2006. no. 37-8-40

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por El Cual Se Adopta La Metodología Para La Tasación De Multas Consagradas En El Numeral 1º 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.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por La Cual Se Establecen Los Parámetros Y Valores Límites Máximos Permisibles En Los Vertimientos Puntuales a Cuerpos De Aguas Superficiales Y a Los Sistemas De Alcantarillado Público Y Se Dictan Otras Disposiciones. (17 de Marzo del 2015). Resolución 0631.2015.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras - 2000 Sección II Titulo E. (28 de Julio del 2000). RAS II. Bogotá D.C.,

NEMEROW, Nelson Leonard y DASGUPTA, Avijit. Tratamiento De Vertidos Industriales Y Peligrosos. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 1998. 29 p. ISBN 8479783370

PANTOJA M, José Salvador. Ingeniería Ambiental. 2 da. ed. México: Prentice Hall, 1999. 474 p.

Purolite. Informaciones Técnicas, Catálogo De Productos. [Electronic (1)]. [Consultado el 16 de Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.purolite.com.br/Customized/uploads/Spanish%20Guide.PDF>

RAMALHO, Rubens Sette, *et al.* Tratamiento De Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 2003. 58 p. ISBN 8429179755

RIGOLA, L. Miguel. Tratamiento De Aguas Residuales: Aguas De Proceso Y Residuales. Tomo 27 ed. Barcelona, España: Marcombo, S.A., 1990. 157 p.

RODIE, Edward y Hardenberg. Ingeniería Sanitaria. [Electronic (1)]: México D.F.: Continental S.A., 1987. 10

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuitratamiento Por Lagunas De Estabilización. 2nd ed. Bogotá D.C.: Escuela colombiana de ingenierías, 1995a. 75 p.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Filtración. En: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. 2 da. ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000a. 241 p. ISBN 958-8060-66-4

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. 2 da. ed. Bogotá D.C.: Escuela colombiana de ingeniería, 2000b. 355 p. ISBN 9588060664.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuípurificación: Diseño De Sistemas De Purificación De Aguas. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995b. 355 p. ISBN: 9589602738

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría Y Principios De Diseño. 3 ra. ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. 421 p. ISBN 9588060133

SPENCER, Clayton. Ion Exchange. [Electrónico]. Estados Unidos.: YouTube, 28 de Septiembre 2013

TCHOBANOGLIOUS, George, *et al.* Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido Y Reutilización. 3 ra. ed. Madrid: McGraw-Hill, 1995. 54-56 p. ISBN 8448116127

Universidad de los Andes de Venezuela. Intercambio Iónico. [Electronic (1)]. 14 de Junio. [Consultado el Septiembre/32016]. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/csalas/OPIV/intercambio_ionico.pdf

Universidad nacional abierta y a distancia. **Lección 18: Coagulantes**

. [Electronic (1)]. 4 de Marzo de 2015. [Consultado el Febrero/22016]. Disponible en:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_18_coagulantes.html

VICEMINISTERIO DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO (ED.) 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.

Vicerrectoría de docencia de la Universidad de Antioquia. La Micromerética Y Su Relación Con Las Propiedades Del Polvo - Aspectos Teóricos I. [Electronic (1)]. 14 de Abril. [Consultado el Agosto/29/2016]. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=129964&inpopup=1>

W. S. Miller, *et al.* Understanding Ion-Exchange Resins for Water Treatment Systems. [Electronic (1)]: GE Water & Process Technologies, 2013. 7

WEBER, Walter J. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. 1 ra. Ed. Barcelona, España: Reverté, 2003. 680-66 p. ISBN: 9788429175226

WHITTEN, Kenneth W., *et al.* Química General. México: Cengage Learning, 2008. ISBN 9789706867

WILDBRETT, Gerhard. Métodos De Control De Sustancias Químicas. En: Gerhard Wildbrett. Limpieza Y Desinfección En La Industria Alimentaria. Acribia, 2000. 245 p. ISBN 9788420009131

ANEXOS

ANEXO A
CRITERIOS PARA LA TASACIÓN DE SANCIONES SEGÚN RESOLUCIÓN
2086 DE 2010.

Artículo 3°. Criterios. Los siguientes son los criterios a tener en cuenta en la metodología para la tasación de las sanciones pecuniarias:

- B:** *Beneficio ilícito*
- α :** *Factor de temporalidad*
- i:** *Grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo*
- A:** *Circunstancias agravantes y atenuantes*
- Ca:** *Costos asociados*
- Cs:** *Capacidad socioeconómica del infractor*

Artículo 4°. Multas. Para la tasación de las multas, las autoridades ambientales deberán tomar como referencia los criterios contenidos en el artículo 4° de la presente Resolución y la aplicación de la siguiente modelación matemática:

$$Multa = B + \left[\alpha * i \right] * (1 + A) + Ca * Cs$$

Artículo 5°. Motivación. Todo acto administrativo que imponga una multa deberá sustentar de manera clara y suficiente cada uno de los criterios tenidos en cuenta para su tasación.

Artículo 6°. Beneficio ilícito (B). El cálculo del beneficio ilícito podrá estimarse a partir de la estimación de las siguientes variables:

- Ingresos directos (y_1);
- Costos evitados (y_2);
- ahorros de retraso (y_3);
- Capacidad de detección de la conducta (p);

La relación entre ingresos, costos y ahorros (y_1, y_2, y_3) y la capacidad de detección de la conducta (p), determina el beneficio ilícito obtenido por el infractor mediante la siguiente relación:

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

Donde:

- B:** Beneficio ilícito obtenido por el infractor
- Y:** Sumatoria de ingresos y costos
- p:** capacidad de detección de la conducta, la cual está en función de las condiciones de la autoridad ambiental y puede tomar los siguientes valores:

- Capacidad de detección baja: $p=0.40$
- Capacidad de detección media: $p=0.45$
- Capacidad de detección alta: $p=0.50$

Parágrafo Segundo. En todo caso, el beneficio B no podrá superar los 5.000 salarios mínimos legales mensuales vigentes cuando se trate de hechos instantáneos ($\alpha=1$). De igual manera cuando se trate de hechos continuos, el beneficio B no podrá superar la siguiente relación:

$$B \leq 2 * \left[\alpha * i \right] * (1 + A) + Ca * Cs$$

Artículo 7º. Grado de Afectación Ambiental (i): Para la estimación de esta variable, se deberá estimar la *importancia de la afectación* mediante la calificación de cada uno de los atributos, atendiendo los criterios y valores presentados en la siguiente tabla:

Atributos	Definición	Calificación	Ponderación
Intensidad (IN)	Define el grado de incidencia de la acción sobre el bien de protección.	Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 0 y 33%.	1
		Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 34% y 66%.	4
		Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67% y 99%.	8
		Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma igual o superior o al 100%	12
Extensión (EX)	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno	Cuando la afectación puede determinarse en un área localizada e inferior a una (1) hectárea.	1
		Cuando la afectación incide en un área determinada entre una (1) hectárea y cinco (5) hectáreas	4
		Cuando la afectación se manifiesta en un área superior a cinco (5) hectáreas.	12
Persistencia (PE)	Persistencia (PE): Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y hasta que el bien de protección retorne a las condiciones previas a la acción	Si la duración del efecto es inferior a seis (6) meses.	1
		Cuando la afectación no es permanente en el tiempo, se establece un plazo temporal de manifestación entre seis (6) meses y cinco (5) años.	3
		Cuando el efecto supone una alteración, indefinida en el tiempo, de los bienes de protección o cuando la alteración es superior a 5 años.	5

Atributos	Definición	Calificación	Ponderación
Reversibilidad (RV)	Capacidad del bien de protección ambiental afectado de volver a sus condiciones anteriores a la afectación por medios naturales, una vez se haya dejado de actuar sobre el ambiente.	Cuando la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en un periodo menor de 1 año.	1
		Aquel en el que la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en el mediano plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio. Es decir, entre uno (1) y diez (10) años.	3
		Cuando la afectación es permanente o se supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medios naturales, a sus condiciones anteriores. Corresponde a un plazo superior a diez (10) años.	5
Recuperabilidad (MC)	Capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental.	Si se logra en un plazo inferior a seis (6) meses.	1
		Caso en que la afectación puede eliminarse por la acción humana, al establecerse las oportunas medidas correctivas, y así mismo, aquel en el que la alteración que sucede puede ser compensable en un periodo comprendido entre 6 meses y 5 años.	3
		Caso en que la alteración del medio o pérdida que supone es imposible de reparar, tanto por la acción natural como por la acción humana.	10

Una vez calificados cada uno de los atributos, se procede a determinar la *importancia de la afectación* de acuerdo con la siguiente relación:

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

La *importancia de la afectación*, puede ser calificada como Irrelevante, Leve, Moderada, Severa o Crítica, atendiendo los valores presentados en la siguiente tabla:

Calificación	Descripción	Medida Cualitativa	Rango
Importancia (I)	Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos.	Irrelevante	8
		Leve	9 -20
		Moderado	21-40
		Severo	41-60
		Crítico	61-80

Una vez determinada la *importancia de la afectación*, se procede a establecer el *grado de afectación ambiental* en unidades monetarias, mediante la siguiente relación, la cual ajusta el monto de la multa a lo establecido por Ley:

$$i = (22.06 * SMMLV) * I$$

Donde:

i: Valor monetario de la importancia de la afectación
SMMLV: Salario mínimo mensual legal vigente
I: Importancia de la afectación

Parágrafo Primero: En aquellos casos en los cuales confluayan dos o más infracciones, se procede mediante el cálculo del promedio de la importancia de aquellas afectaciones que se consideren relevantes.

Parágrafo Segundo. El grado de afectación ambiental (*i*) estará afectado por la variable alfa (α) como un factor de temporalidad que refleja el número de días de la afectación.

Parágrafo Tercero. La variable alfa (α) se calculará aplicando la siguiente relación:

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

Donde:

d: número de días continuos o discontinuos durante los cuales sucede el ilícito (entre 1 y 365).

Artículo 8°. Evaluación del riesgo (*r*). Para aquellas infracciones que no se concretan en afectación ambiental, se evalúa el riesgo, mediante la siguiente relación:

$$r = o \times m$$

Donde:

r = Riesgo
o = Probabilidad de ocurrencia de la afectación
m = Magnitud potencial de la afectación

Probabilidad de ocurrencia de la afectación (*o*). La probabilidad de ocurrencia de la afectación se puede calificar como muy alta, alta, moderada, baja o muy baja y atendiendo los valores presentados en la siguiente tabla:

Calificación	Probabilidad de ocurrencia (<i>o</i>)
Muy alta	1
Alta	0.8
Moderada	0.6
Baja	0.4
Muy baja	0.2

Magnitud Potencial de la afectación (*m*). La magnitud o nivel potencial de la afectación se puede calificar como irrelevante, leve, moderado, severo o crítico,

aplicando la metodología de valoración de la importancia de la afectación y suponiendo un “escenario con afectación”. Una vez obtenido el valor de (*I*) se determina la magnitud potencial de la afectación con base en la siguiente tabla:

Criterio de valoración de afectación	Importancia de la afectación (<i>I</i>)	Magnitud potencial de la afectación (<i>m</i>).
Irrelevante	8	20
Leve	9-20	35
Moderado	21-40	50
Severo	41-60	65
Crítico	61-80	80

Una vez realizada la *evaluación del riesgo*, se procede a monetizar, mediante la siguiente relación:

$$R = (11.03 \times SMMLV) \times r$$

Donde:

<i>R</i>	=	Valor monetario de la importancia del riesgo
<i>SMMLV</i>	=	Salario mínimo mensual legal vigente
<i>r</i>	=	Riesgo

Parágrafo 1°. En aquellos casos en los cuales confluyan dos o más infracciones que generen riesgo potencial de afectación, se realiza un promedio de sus valores.

Parágrafo 2°. En los casos en los cuales suceda más de una infracción que se concreten en afectación y riesgo, se procederá mediante el promedio simple de los resultados obtenidos al monetizar tales infracciones o riesgos.

Artículo 9°. *Circunstancias agravantes y atenuantes.* Cada una de las circunstancias agravantes y atenuantes podrá ser calificada conforme a los valores dados en las siguientes tablas:

Artículo 10°. *Capacidad socioeconómica del infractor.* Para el cálculo de la Capacidad Socioeconómica del Infractor, se tendrá en cuenta la diferenciación entre personas naturales, personas jurídicas y entes territoriales, de conformidad con las siguientes tablas:

ANEXO B

**FICHAS DE SEGURIDAD DE REACTIVOS UTILIZADOS ACTUALMENTE PARA
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LAVADOS DE EQUIPOS DE
PRODUCCIÓN.**

HIDRÓXIDO DE SODIO

I

CAS: 1310-73-2 Sosa caústica NU: 1823 Hidrato de sodio CE Índice Anexo I: 011-002-00-6 Sosa CE / EINECS: 215-185-5 NaOH Masa molecular: 40.0			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

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 style="text-align: center;">Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p> </div> <div style="text-align: center;">  WHO </div> <div style="text-align: center;">  ILO </div> <div style="text-align: center;">  UNEP </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <small>MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACION</small> </div> <div style="text-align: center;">  <small>INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO</small> </div> </div>	

HIDRÓXIDO DE SODIO

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas

PELIGROS QUÍMICOS

La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISQ: 0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV: 2 mg/m³ (Valor techo) (ACGIH 2010).
MAK: IIb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

Efectos locales graves

RIESGO DE INHALACIÓN

Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición:
1388°C Punto de
fusión: 318°C
Densidad: 2.1 g/cm³

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).

DATOS AMBIENTALES

Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

NOTAS

El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otro n° NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición
profesional (INSHT
2011): VLA-EC: 2 mg/m³

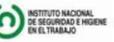
NOTA LEGAL Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE

SULFATO DE ALUMINIO

I

<p>CAS: 10043-01-3</p> <p>Sulfato aluminico</p> <p>CE / EINECS: 233-135-0</p> <p>Trisulfato de aluminio Trisulfato de dialuminio Alumbre $Al_2S_3O_{12} / Al_2(SO_4)_3$ Masa molecular: 342.1</p>			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos corrosivos y tóxicos (o gases).		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!	
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Evitar la inhalación de polvo. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio y reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Quemaduras.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente .
Ingestión	Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Dolor abdominal. Náuseas. Vómitos. Diarrea.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado de plástico; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		Clasificación GHS Atención Provoca irritación ocular grave. Puede provocar irritación respiratoria. Tóxico para los organismos acuáticos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	

	Separado de bases y oxidantes fuertes. Mantener en lugar seco. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios.
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010	
 IPCS International Programme on Chemical Safety	 WHO
 ILO	 UNEP
	 MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN
	 INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

SULFATO DE ALUMINIO		ICSC: 1191
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Cristales brillantes o polvo de color blanco. Inodoro.	VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y ingestión.	
PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone al calentarla 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 Ataca a muchos metales en presencia de agua.	RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva suspendidas en el aire cuando se dispersa, especialmente forma de polvo.	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV no establecido. MAK no establecido.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita gravemente los ojos, el tracto levemente la piel.	
	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, alteraciones funcionales.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Se descompone a 770°C. Densidad: 2.71 g/cm ³ Solubilidad en agua: elevada. Ver Notas.		
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.		
NOTAS		
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.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
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.		
© IPCS,		

ÁCIDO NÍTRICO I

CAS: 7697-37-2
 Ácido nítrico concentrado
 RTECS: QU5775000 (70%)
 NU: 2031 HNO₃
 CE Índice Anexo I: 007-004-00-1
 Masa molecular: 63,0
 CE / EINECS: 231-714-2



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con productos químicos combustibles u orgánicos.	En caso de incendio en el entorno: NO espuma.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con muchos compuestos orgánicos frecuentes.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Piel	Quemaduras cutáneas graves. Dolor. Decoloración amarilla.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras..	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Dolor abdominal. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Shock o colapso. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

<p>DERRAMES Y FUGAS</p> <p>¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar cuidadosamente el residuo con carbonato sódico. Eliminarlo a continuación con agua abundante. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles.</p>	<p>ENVASADO Y ETIQUETADO</p> <p>Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: O, C R: 8-35 S: (1/2-)23-26-36-45 Nota: B Clasificación n NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 5.1 Grupo de Envasado NU: I Clasificación GHS Peligro Puede ser corrosiva para los metales. Mortal en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Provoca daños en las vías respiratorias si se inhala. Provoca daños en el tracto digestivo por ingestión. Provoca daños en las vías respiratorias y en los dientes tras exposición prolongada o repetida si se inhala.</p>
<p>RESPUESTA DE EMERGENCIA</p>	<p>ALMACENAMIENTO</p>
<p>Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S2031-I Código NFPA: H4; F0; R0; OX</p>	<p>Separado de sustancias combustibles y reductoras, bases y de alimentos y piensos orgánicos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.</p>
<p style="text-align: center;">Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>WHO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>IOE</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>UNEP</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO</p> </div> </div>	

<p>ÁCIDO NÍTRICO ICSC: 0183</p>	
<p>DATOS IMPORTANTES</p>	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro a amarillo, de olor acre.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone al calentarla suavemente, produciendo óxidos de nitrógeno. La sustancia es un fuerte y reacciona violentamente con materiales reductores, p.ej. turpentina, carbón, alcohol. La ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es para los metales, formando gas combustible FISQ: 0001). Reacciona violentamente con compuestos</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 2 ppm como TWA, 4 ppm como STEL; (ACGIH MAK: 1lb (no establecido pero hay datos disponibles)</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves por todas las vías de exposición.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto Corrosiva por ingestión. La inhalación puede causar edema (ver Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición repetida al vapor. La sustancia puede afectar a los dientes, a erosión dental.</p>

PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de ebullición: 121°C Punto de fusión: -41,6°C Densidad relativa (agua = 1): 1,4 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 6,4 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,2	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0,21
DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	
Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto hasta que han pasado unas pocas horas o incluso días y se agravan con el esfuerzo físico. Esta Ficha ha sido parcialmente actualizada en enero de 2008: ver Límites de exposición.	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 1 ppm, 2,6 mg/m ³ Notas: Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE	
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.	
© IPCS. CE	

HOJA DE SEGURIDAD

Versión 2 – 25/02/2015

DETERGENTE CONCENTRADO EN POLVO

SIMBOLO NFPA (NIVEL DE RIESGO)



Escala de Calificación de Riesgos

0 = Mínimo
1 = Ligero
2 = Moderado
3 = Serio
4 = Severo

• PROPIEDADES:

- ✓ Detergente aglomerado blanco, de aspecto homogéneo.
- ✓ Densidad aparente: 0.75 g/ml.
- ✓ pH al 1%: 12.0 ± 0.5.
- ✓ Alta solubilidad: 200 g/litro en agua fría.

Incorpora tensoactivos no iónicos de alta eficacia y jabones solubles a bajas temperaturas, que le proporcionan un alto rendimiento en todas las condiciones posibles de lavado. Contiene una eficaz combinación de secuestrantes y sales alcalinas lo que aporta un alto poder saponificante de suciedades grasas incluso en aguas de elevada dureza.

Contiene blanqueantes ópticos estables al cloro y combina perfectamente con cualquier oxidante durante la fase de lavado ofreciendo excelentes resultados en la eliminación de manchas.

- **APLICACIONES:** Responde a las necesidades de lavado moderno de los textiles y superficies.
- **MODO DE EMPLEO:** Disolver una cantidad pequeña en agua, hasta obtener espuma.
- **PRECAUCIONES:** Mantener alejado de los niños. No ingerir. En caso de ingestión accidental acudir a un centro médico con la etiqueta.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA O DEL PREPARADO Y DE LA EMPRESA

NOMBRE DEL PRODUCTO: DETERGENTE EN POLVO

2. COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

COMPOSICIÓN: Fosfatos, Tensoactivos no iónicos, Carbonatos, Perborato, Blanqueantes ópticos y Componentes inertes.

3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

PELIGROS ESPECIALES PARA EL HOMBRE Y EL MEDIO AMBIENTE:

4. PRIMEROS AUXILIOS

- **INHALACIÓN:** no produce vapores en frío. En caso de malestar, sacar a la persona afectada al aire libre, mantenerla abrigada, y en posición semi-incorporada y buscar ayuda médica.
- **CONTACTO CON LA PIEL:** En caso de hipersensibilidad a alguno de sus componentes puede producir irritación cutánea.
- **CONTACTO CON LOS OJOS:** lavar abundantemente bajo agua corriente durante 15 minutos y con los párpados abiertos, control posterior por el oculista, si fuese necesario.
- **INGESTIÓN:** enjuagarse la boca y beber agua fría y trasladar inmediatamente al hospital. No provocar el vómito y si se produce, dar nuevamente a beber agua.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

- **MEDIOS DE EXTINCIÓN ADECUADOS:**
NO INFLAMABLE. NO COMBUSTIBLE.
 - a) Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad: No aplica
 - b) Riesgos especiales particulares que resultan de la exposición a la sustancia o al preparado en sí, a los productos de combustión o gases producidos: No aplica.
 - c) Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios: No aplica

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Aspecto:** Detergente aglomerado blanco de aspecto homogéneo.
- **Olor:** característico.
- **pH al 1%:** 12.0 ± 0.5
- **Punto/intervalo de ebullición:** No aplica
- **Punto/intervalo de fusión:** No aplica
- **Punto de destello:** No aplica
- **Inflamabilidad (Sólido, gas):** No inflamable.
- **Auto inflamabilidad:** no autoinflamable.
- **Peligro de explosión:** No aplica
- **Propiedades comburentes:** No aplica
- **Presión de vapor:** no disponible.
- **Densidad aparente:** 0.75 ± 0.01 gr/ml
- **Solubilidad-Hidrosolubilidad:** 100%
- **Liposolubilidad disolvente-aceite:** no disponible.
- **Coefficiente de reparto:** n-octanol/agua: no disponible.
- **Miscibilidad:** Total en agua
- **Conductividad:** no disponible.
- **Viscosidad:** No aplica

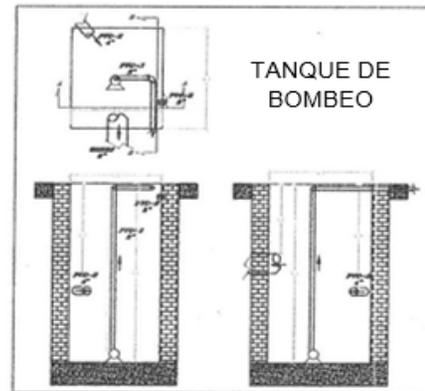
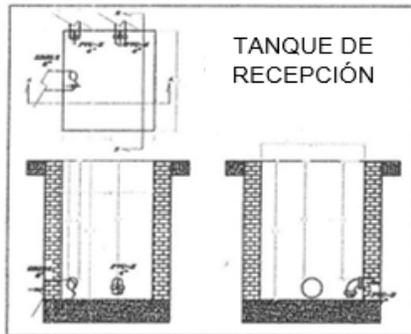
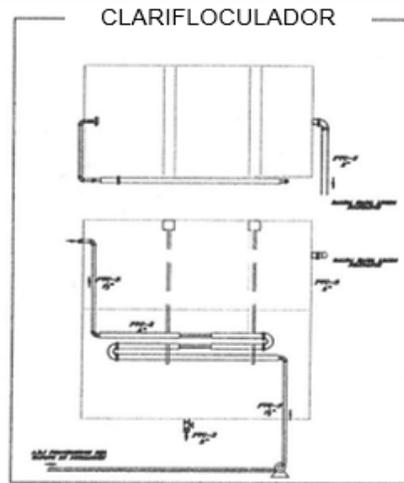
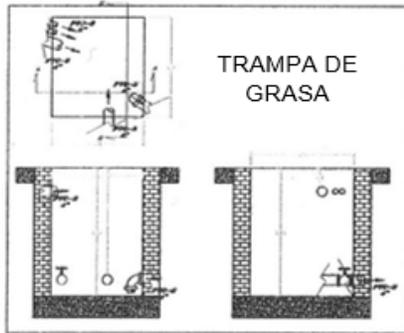
7. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- **Condiciones a evitar:** mantener alejado de la luz solar.
- **Materias a evitar:** Fuentes de calor y humedad.
- **Productos peligrosos de descomposición:** ninguno en condiciones normales de proceso.

8. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- a. **INHALACIÓN:** Puede producir irritación de nariz y garganta.
- b. **CONTACTO CON LA PIEL:** El contacto con la piel húmeda puede causar

ANEXO C
PLANOS ACTUALES DE LA PTAR.



ANEXO D

TABLA DE DATOS PARA CURVA DE NEUTRALIZACIÓN.

NaOH (mL)	NaOH (ppm)	pH
0	0	4,16
0,5	10	4,23
1	20	4,39
1,5	30	4,52
2	40	4,62
2,5	50	4,74
3	60	5,03
3,5	70	5,19
4	80	5,33
4,5	90	5,51
5	100	5,78
5,5	110	6,09
6	120	6,5
6,5	130	6,85
7	140	7,03
7,5	150	7,34
8	160	7,52
8,5	170	7,71
9	180	7,93
9,5	190	8,15
10	200	8,45
10,5	210	8,79
11	220	9,11
11,5	230	9,56

ANEXO E

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL CRUDA
REALIZADO POR LABORATORIO DR. CALDERON.**



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
 CONTROL DE CALIDAD
 FOUAF
 SUELOS
 AGUAS

INFORME

No. Laboratorio 10235

Identificación del documento

FAD-16

VERSIÓN 1

Propietario:	Paula Andrea Sedano Cabrera
Dirección:	Cra 58 A No. 167 - 66
Ciudad:	Bogotá

Fecha de Muestreo	2016-08-12
Fecha de Recepción	2016-08-12
Fecha de Análisis	2016-08-23

Orden de Trabajo No. 56674

Información de la Muestra

Identificación	Destino del Agua	Características
Entrada a PTAR Lacteos	Agua Residual	Líquido color naranja
Municipio		
BOGOTÁ	CUN	

RESULTADOS DEL ANALISIS

Parámetro	Reporte	Unidades	Metodos Analíticos
**DQO:	25078	mg/L O2	Reflujo Cerrado y Colorimetrico SM 5220D
DBO5:	10082.6	mg/L O2	LBC 23 Respirimetria
**Sólidos Suspendidos Totales:	1903.20	mg/L	Gravimétrico - Secado a 103°C-105°C SM 2540D

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Pag. 1/2

Felipe Calderón Sáenz
 Director General; T.P. 3186

Katherine Jurado Bello
 Jefe de Laboratorio



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
 CONTROL DE CALIDAD
 FOLIA
 SUELO
 AGUA

INFORME

No. Laboratorio 10235

Identificación del documento

FAD-16

VERSIÓN 1

Propietario:	Paula Andrea Sedano Cabrera
Dirección:	Cra 58 A No. 167 - 66
Ciudad:	Bogotá

Fecha de Muestreo	2016-08-12
Fecha de Recepción	2016-08-12
Fecha de Análisis	2016-08-23

Orden de Trabajo No. 58674

Información de la Muestra

Identificación	Destino del Agua	Características
Entrada a PTAR Lacteos	Agua Residual	Líquido color naranja
Municipio		
BOGOTÁ	CUN	

RESULTADOS DEL ANALISIS

Parámetro	Reporte	Unidades
Cloruros :	5.80	mg/L
Sulfatos :	280.00	mg/L
Sólidos Sedimentables :	0.80	mg/L
Grasas y Aceites :	1034.00	mg/L

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Pag.2/2

Fin del Informe.



Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros marcados con ** según Resolución N° 0310 del 09 de Marzo de 2016

Felipe Calderón Sáenz
 Felipe Calderón Sáenz
 Director General; T.P. 3186

Katherine Jarado B.
 Katherine Jarado Bella
 Jefe de Laboratorio

ANEXO F

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO REALIZADO POR LABORATORIO ANALQUIM
LTDA DE VERTIMIENTO TRATADO CON CONDICIONES ACTUALES DE LA
EMPRESA.**

ANEXO G

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO REALIZADO POR LABORATORIO ASINAL LTDA
DE AGUA CON APLICACIÓN DE MEJORA DE CLARIFICACIÓN.**



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



ACOPÍ
Premio Nacional
PYME
Producto Innovador
2008

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA No. 1096918

REG-REA-097 Versión 1.0

INFORMACION DEL CLIENTE

Empresa Miguel Angel Leiton Salamanca **Ciudad y Fecha** Bogota D.C., 2016/09/22 14:09
Nit 1026288050 **Teléfono** 0 **Fax** 0
Dirección Bogotá D. C., Cra 87 No. 187 - 79 **E-mail**

INFORMACION DE LA MUESTRA

Muestra Agua residual industrial, láctea, fecha:0908-16, hora:12:30 pm
Fecha recepción 2016/09/09 **Características** Muestra Ambiental **Tipo Envase** Recipiente vidrio amber
Fecha Elaboración **Temperatura °C** 19,1 **Tamaño Muestra** 1500 mL
Fecha Vencimiento **Metodo muestreo** Puntual **Norma** Resolución No.631 de 2015
Nro Lote No aplica **Sitio muestreo** Recepción laboratorio **Muestreo por:** Empresa
Proveedor No aplica **Muestreo Fecha/hora:** 2016/09/09 03:20

RESULTADOS

Parámetro	Resultado Fecha/Hora	Método	Resultado	Unidades
Fisicoquímica				
A DBO5	2016/09/16 11:09	S.M. 22st Edition 5210 B	1.722	mgO
A DQO	2016/09/16 09:09	S.M. 22st Edition 5220 C	7.965	mgO
A Grasas y aceites	2016/09/17 10:09	S.M. 22st Edition 5520 B	33	mg/L

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

Belisario Acevedo D. Ph.D.
Director Técnico

ANEXO H

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO POR LABORATORIO ASINAL LTDA. DE AGUA CON APLICACIÓN DE TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO DE INTERCAMBIO IÓNICO.



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



REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA No. 1097885

INFORMACION DEL CLIENTE

Empresa	Miguel Angel Leiton Salamanca	Ciudad y Fecha	Bogota D.C., 2016/10/27 14:10	
Nit	1026288050	Teléfono	0	Fax 0
Dirección	Bogotá D. C., Cra 67 No. 167 - 79	E-mail		

INFORMACION DE LA MUESTRA

Muestra	Agua residual industrial, industria láctea resina, fecha:14-10-16, hora:12:46 pm				
Fecha recepción	2016/10/14	Características	Materia prima	Tipo Envase	Recipiente vidrio ambar
Fecha Elaboración		Temperatura °C	5,3	Tamaño Muestra	1000 mL
Fecha Vencimiento		Metodo muestreo	Puntual	Norma	Resolución No.631 de 2015
Nro Lote		sitio muestreo	Recepción laboratorio	Muestreo por:	Empresa
Proveedor	No aplica			Muestreo Fecha/hora:	2016/10/14 03:54

RESULTADOS

Parámetro	Resultado Fecha/Hora	Método	Resultado	Unidades
Fisicoquímica				
A DBO5	2016/10/27 14:10	S.M. 22st Edition 5210 B	89	mgO2/L
A DQO	2016/10/27 12:10	S.M. 22st Edition 5220 C	358	mgO2/L
A Grasas y aceites	2016/10/27 13:10	S.M. 22st Edition 5210 B	14	mg/L

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

Belisario Acevedo D. Ph.D.
Director Técnico

www.asinal.com - Tel: +57(1) 805-3555 Fax: 7202144 - Calle 10 Sur No 41-27 (Ciudad Montes), Bogotá D.C. Colombia

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

Página 1 de 1

ANEXO I
FICHAS TÉCNICAS DE REACTIVOS UTILIZADOS EN DESARROLLO
EXPERIMENTAL.



LIPESA 1538

POLIMERO ANIÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales.
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1.0 – 12.0
- Fácilmente emulsionable en agua.
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1538 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales. **LIPESA 1538** tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y muchos otros procesos como el papelerero y azucarero.

Descripción General

LIPESA 1538 es un polímero sólido de "muy alto peso molecular", fuertemente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Densidad:	800 Kg/m³ aprox.
Solubilidad:	1.0% en agua.
Viscosidad:	2000 cPs aprox. a 5.0g/l
	1000 cPs aprox. a 2.5 g/l
	300 cPs aprox. a 1.0g/l

Dosis

Las dosis de **LIPESA 1538** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10 - 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.05 – 30 g/m³

En todo caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1538 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de **LIPESA 1538** es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos
- Dejar en reposo durante 5 -10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos

**Despacho y almacenamiento**

LIPESA 1538 se despacha en bolsas de 25 Kg y 750Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. No almacenar por más de doce meses en planta.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1538 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucho agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un medico.

RM – 08/07

Rev. 0



LIPESA 1547M

POLIMERO ANIÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.
- Trabaja en un rango amplio de pH
- fácilmente emulsionable en agua.
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1547M ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación de agua potable e industrial y en el espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales, **LIPESA 1547M** tiene también aplicación es espesamiento de lodos en procesos como el papelerero, azucarero, lodos de perforación, etc.

Descripción General

LIPESA 1547M es un polímero de "muy alto peso molecular", ligeramente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Densidad:	800 Kg/m³ aprox.
Solubilidad:	1.0% máx. en agua.
Viscosidad:	1500 cPs aprox. a 5.0g/l
	600 cPs aprox. a 2.5 g/l
	140 cPs aprox. a 1.0g/l

Dosis

Las dosis de **LIPESA 1547M** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10-800 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.1 – 300 g/m³

En cualquier caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis óptima a su situación particular.

Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1547M se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de **LIPESA 1547M** es de aproximadamente 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 20 minutos
- Dejar en reposo durante 5 -10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 10 – 25 minutos



El punto de inyección, en el caso de tratamiento de estaciones, deberá hacerse en un punto de buena mezcla y en todo caso dependerá de sistema de tratamiento usado. El Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento del sitio adecuado para la inyección del producto, bien sea en estaciones de tratamiento o en aplicaciones especiales.

Despacho y almacenamiento

LIPESA 1547M se despacha en bolsas de 25 Kg y 750Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. No almacenar por mas de seis meses en planta.

Manejo y Seguridad

El producto **LIPESA 1547M** no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucho agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un medico.

RM – 08/07

Rev. 0



LIPESA AC005

POLICLORURO DE ALUMINIO

- Aprobado para ser aplicado en agua potable
- Posee un fuerte poder de coagulación.
- Amplio rango de actuación en el pH (5 a 10) y de temperatura
- No afecta el pH del agua tratada, permitiendo un ahorro sustancial de neutralizante
- Perfectamente compatible con los tratamientos biológicos
- Rápida velocidad de coagulación
- Alto rendimiento en aguas con gran carga contaminante
- Volumen menor de lodos y mayor compactación de los mismos
- Alto poder defosfatante
- Alto rendimiento en eliminación de sólidos en suspensión, DQO y DBO5
- Excelente relación costo rendimiento

Usos Principales

LIPESA AC005 ha sido formulado para ser utilizado en la coagulación de aguas potables, residuales municipales e industriales, permitiendo el reemplazo total o parcial del alumbre y otros coagulantes. Puede emplearse como acondicionador de lodos, mejorando el proceso de deshidratación.

Descripción general

LIPESA AC005 es una solución líquida de policloruro de aluminio con las siguientes características:

Color:	Incoloro a ámbar
Olor:	Inodoro
Gravedad específica:	1,26 - 1,33 a 25 °C
pH al 15 %:	2.5 - 4,5 a 25 °C
% activo:	22.5 – 23.5 % Al₂O₃
Solubilidad:	100% en agua

Dosis

La dosis óptima debe ser determinada por pruebas de laboratorio y campo. Las dosis típicas son:

- Clarificación de aguas: 3 - 260 ppm (0,29 -24,8 como Al)
- Tratamiento de lodos 50- 2.000 ppm

En todo caso, el Representante Técnico de LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA AC005 debe alimentarse de una manera continua al proceso, cualquiera que sea su aplicación, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de plástico o cualquier otro material resistente al ácido. El producto es totalmente soluble en agua, por lo tanto su preparación es muy sencilla.

Despacho y almacenamiento

LIPESA AC005 se despacha en tambores plásticos de 270 Kg y a granel. Puede almacenarse por seis (6) meses sin que se altere la calidad del producto.

Manejo y seguridad

LIPESA AC005 no presenta ningún riesgo en el manejo. No es tóxico. Como todo producto químico debe manejarse con cuidado. En caso de contacto con los ojos, lavar y enjuagar con abundante agua por lo menos por 15 minutos. Al contacto con la piel y ropa de trabajo, lavar con abundante agua y jabón por 5 minutos. No lo ingiera, pero si ocurre accidentalmente, inducir al vómito y llamar al medico inmediatamente.

BD 04-05

Rev. 5



LIPESA AC011

COAGULANTE INORGANICO

- Aprobado para ser aplicado en agua potable
- Posee un fuerte poder de coagulación.
- Amplio rango de actuación en el pH (5 a 10) y de temperatura
- No afecta el pH del agua tratada, permitiendo un ahorro sustancial de neutralizante
- Perfectamente compatible con los tratamientos biológicos
- Rápida velocidad de coagulación
- Alto rendimiento en aguas con gran carga contaminante
- Volumen menor de lodos y mayor compactación de los mismos
- Alto poder defosfatante
- Alto rendimiento en eliminación de sólidos en suspensión, DQO y DBO5
- Excelente relación costo rendimiento

Usos Principales

LIPESA AC011 ha sido formulado para ser utilizado en la coagulación de aguas potables, residuales municipales e industriales, permitiendo el reemplazo total o parcial del alumbre y otros coagulantes. Puede emplearse como acondicionador de lodos, mejorando el proceso de deshidratación.

Descripción general

LIPESA AC011 es una solución líquida de sales inorgánicas trivalentes, con las siguientes características:

Color:	Café
Olor:	Inodoro
Gravedad específica:	1,35 – 1.45
PH al 100%:	< 2.1

Dosis

La dosis óptima debe ser determinada por pruebas de laboratorio y campo. Las dosis típicas son:

- Clarificación de aguas: 3 - 260 ppm (0,29 -24,8 como Al)
- Tratamiento de lodos 50- 2.000 ppm

En todo caso, el Representante Técnico de LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA AC011 debe alimentarse de una manera continua al proceso, cualquiera que sea su aplicación, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de plástico o cualquier otro material resistente al ácido. El producto es totalmente soluble en agua, por lo tanto su preparación es muy sencilla.

Despacho y almacenamiento

LIPESA AC011 se despacha en tambores plásticos de 270 Kg y a granel. Puede almacenarse por seis (6) meses sin que se altere la calidad del producto.

Manejo y seguridad

LIPESA AC011 no presenta ningún riesgo en el manejo. No es tóxico. Como todo producto químico debe manejarse con cuidado. En caso de contacto con los ojos, lavar y enjuagar con abundante agua por lo menos por 15 minutos. Al contacto con la piel y ropa de trabajo, lavar con abundante agua y jabón por 5 minutos. No lo ingiera, pero si ocurre accidentalmente, inducir al vómito y llamar al medico inmediatamente.

RM 02-11

Rev. 1

FLOCULANTE

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 13,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1564 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los orgánicos. LIPESA 1564 tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y procesos varios.

Descripción General

LIPESA 1564 es un polímero sólido, granular de "muy alto peso molecular", fuertemente catiónico, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH a 25°C:	2,50 – 4,50 al 0,5%
Densidad:	600 - 900 Kg/m³
Solubilidad:	0,5% máximo en agua
Viscosidad (cP):	*145,0 al 0,1 %
	*450,0 al 0,25 %
	*1150 al 0,5 %

*Valores medios indicativos. Seleccionar los equipos de disolución sobre la base de una viscosidad 10 veces mayor (fluido no Newtoniano)

Dosis

La dosis de LIPESA 1564 varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado.

Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 5 – 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0,05 – 30 g/m³

En todo caso, el representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1564 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1564 es de 60 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos.
- Dejar en reposo durante 15 – 20 minutos.
- Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos.

Despacho y Almacenamiento

LIPESA 1564 se despacha en sacos de 25 kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. Tiempo de vida útil: 24 meses a partir de la fecha de fabricación.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1564 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucha agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

BD-05-15

Rev.: 4

*"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.
La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.
Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."*

LIPESA RIF: J-08010339-4

FGM007 REV.: 2 F. REV.: 16-03-06



LIPESA 1550 A

POLIMERO NO IÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH
- fácilmente emulsionable en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1550 A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación de agua potable e industrial y en el espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales. LIPESA 1550 A tiene también aplicación es espesamiento de lodos en procesos como el papelero, azucarero, lodos de perforación, etc.

Descripción General

LIPESA 1550 A es un polímero de "muy alto peso molecular", no iónico, con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH:	5,00 – 8,00
Solubilidad:	0,5% máx. en agua.
Viscosidad Brookfield (Cp):	50 – 1000 al 0,5 %

Dosis

Las dosis de LIPESA 1550 A varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10-800 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.1 – 300 g/m³

En cualquier caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis óptima a su situación particular.

Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1550 A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo. El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1550A es de aproximadamente 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 20 minutos
- Dejar en reposo durante 5 -10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 10 – 25 minutos

El punto de inyección, en el caso de tratamiento de estaciones, deberá hacerse en un punto de buena mezcla y en todo caso dependerá de sistema de tratamiento usado. El Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento del sitio adecuado para la inyección del producto, bien sea en estaciones de tratamiento o en aplicaciones especiales.

Despacho y almacenamiento

LIPESA 1550 A se despacha en bolsas de 25 Kg y 750Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. No almacenar por mas de seis meses en planta.

Manejo y Seguridad

El producto **LIPESA 1550 A** no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucho agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

BD-04-14-NYR

Rev.: 0

"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases. La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad. Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."
LIPESA RIF: J-08010339-4

FGM997 REV.: 3 F. REV.: 17-01-2009

ANEXO J
COTIZACIÓN DE LOS REACTIVOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA.

 CEDIQUM <small>Centro de Distribución Química S.A.S.</small>		COTIZACIÓN No.	3687		
		FECHA DE EXPEDICIÓN	30 de Noviembre 2016		
		16 de Noviembre 2016	30 de Noviembre 2016		
SEÑORES ATN. INVERSIONES FASULAC LTDA MIGUEL ANGEL LEITON SALAMANCA		CONTACTO Nayda Duarte TEL (571)8785454/55/65 Ext: 118 3118737133 EMAIL nduarte@cediquim.com			
DIRECCION: CARRERA 34 A N° 4B 73 CIUDAD: Bogota NIT:		TELEFONO 321 3120623			
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRESENTACION	VALOR UNIDAD (COP \$/UNIDAD)	VALOR TOTAL
50	KG	SODA CAUSTICA EN ESCAMAS	SACO X 25 KG	\$ 3.558,25	\$ 177.913
250	KG	SULFATO DE ALUMINIO TIPO A	TAMBOR X 250 KG	\$ 2.303,51	\$ 575.878
50	KG	POLICLORURO DE ALUMINIO	SACO X 25 KG	\$ 3.147,33	\$ 157.367
DISPONIBILIDAD: 8 DIAS HABILÉS				SUB-TOTAL	\$ 911.157
ENTREGA EN : INVERSIONES FASULAC				IVA	\$ 145.785
TERMINOS DE PAGO: CONTADO MONEDA NEG: \$COP					
METODO DE ENVIO: TERRESTRE				TOTAL	\$ 1.056.942
Observaciones:					
 <p style="font-size: small;"> Centro de Distribución Química S.A.S. Vía Bogotá-Tocandó, Vereda Canavita, Páramo Industrial Anapoí, Bogotá 25 • Tocandó • Cundinamarca, Colombia Tel. (57-1) 8785454/55/65 • Fax. (57-1) 8785303 • servicioalcliente@cediquim.com • www.cediquim.com CEDIQUM Costa Rica Ltda. Barreal de Heredia, de la Pajón, 500 metros Norte, Cibodegas Barreal de Heredia, Contigua a distribuidora Idefa, Bodega 16, Heredia, Costa Rica • Tel. (506) 5711-3749/8831-8859 • Fax. 4010-1000 • servicioalcliente@cediquim.com • www.cediquim.com </p>					

ANEXO K
COTIZACIÓN DE EQUIPO DE LA PROPUESTA DE MEJORA.



Agua sistema y soluciones
integrales S.A.S

Fecha cotización 23 de noviembre de 2016
Cotización COT. 0084-16
Cliente PAULA SEDANO
Ingeniero PAULA SEDANO

REF: EQUIPO

EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA REMOCION DE MATERIA ORGANICA Y COLOIDAL

OBJETIVO

Satisfacer las necesidades en el manejo de la remoción de la materia orgánica y coloidal procedente del equipo de tratamiento de agua residual domestica

VENTAJAS

Es una unidad ensamblada de fábrica, disminuyendo costo en transporte por peso y volumen, fácil de instalar y sencilla de operar.

OFERTA ECONOMICA:

ITEM	PRODUCTO	CANT	U.M	VALOR UND
1	EQUIPO PARA LA REMOCION DE MATERIA ORGANICA Y COLOIDAL CON RETENCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA RETENCION DE COLOR, OLOR Y BACTERIAS DEL AGUA, REDUCCIÓN DEL DQO Y DBO, RESINA ANIONICA FUERTE PARA REGENERACION CON NaCl, CON TABLERO ELECTRICO PARA EL CONTROL AUTOMATICO DEL EQUIPO, CAUDAL DE TRABAJO: 10 GPM, PRESION DE TRABAJO: 50 PSI CAPACIDAD DE RESINA: 100 LITROS	1	UND	\$ 34.637.600,00
	SUB TOTAL			\$ 34.637.600,00
	IVA		16%	\$ 5.542.016,00
	VALOR TOTAL			\$ 40.179.616,00

• Por favor confirmar que los equipos, repuestos y accesorios presentados en esta cotización, cumplan con sus requerimientos y los de su proceso.

ASSI Agua sistema y soluciones integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 3202709000/ 317 837 96 41

aquadesmi2011@gmail.com

NIT: 900.748.616-2

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

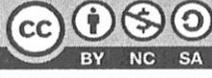
Nosotros **Miguel Angel Leiton Salamanca** y **Paula Andrea Sedano Cabrera** en calidad de titulares de la obra **Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Inversiones Fasulac Ltda.**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

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

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

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

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

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

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

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

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

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

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 10 días del mes de marzo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Miguel Angel	Leiton Salamanca
Documento de identificación No	Firma
1.026.288.050	Miguel Angel Leiton

Autor 2

Nombres	Apellidos
Paula Andrea	Sedano Cabrera
Documento de identificación No	Firma
1.019.092.400	Paula Sedano