

**PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL DEL PROCESO DE CLORINACIÓN PARA SU REUTILIZACIÓN EN
LA EMPRESA ETERNA S.A**

ASHLY VERONICA DIAZ BALLESTEROS
VIVIAN ALEJANDRA JIMENEZ CIRO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C

2020

**PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL DEL PROCESO DE CLORINACION PARA SU REUTILIZACION EN
LA EMPRESA ETERNA S.A**

ASHLY VERONICA DIAZ BALLESTEROS
VIVIAN ALEJANDRA JIMENEZ CIRO

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C.

2020

Nota de Aceptación

Ing. Jaime Eduardo Arturo Calvache

Ing. Juan Andrés Sandoval Herrera

Bogotá D.C., Febrero 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA.

Vicerrectora Académica y de Posgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMAN.

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMAN.

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARIZMENDI.

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÙS 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.

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por darme la capacidad y salud para culminar este proyecto que es el cierre de una gran etapa en mi vida.

A mi madre por su enorme paciencia en las noches largas, por su empeño a corregirme y formarme para ser cada vez una mejor persona, por llevarme siempre a dar la milla extra, por los valores inculcados. Agradezco infinitamente el apoyo incondicional, por ser mí ejemplo a seguir y la persona que más admiro.

A mi padre por permitirme culminar este proceso, por el esfuerzo invertido, por ser mi guía en las buenas decisiones y por siempre darme el impulso de continuar y llegar a cumplir mis propósitos.

A mis pequeñas muñecas por su enorme alegría en los días de estrés, por su paciencia infinita, por su atención en cada una de las facetas para el desarrollo de este proyecto. Agradezco las sonrisas dadas en el transcurso de esta etapa.

Finalmente, a todos aquellos que hicieron parte desde el inicio de la carrera guiándome cuando lo necesite y especialmente a los que estuvieron conmigo apoyándome en los altibajos que ocurrieron en la recta final.

Ashly Veronica Diaz Ballesteros

A mi madre en primer lugar por su paciencia y apoyo en las jornadas largas, por su constante consejo que día a día me permiten ser una mejor persona, por darme alientos en los momentos en donde el cansancio parecía ganar y guiarme para siempre tomar las decisiones más acertadas. Agradezco su apoyo incondicional, por ser una mujer ejemplo y merecedora de toda mi admiración

A mi padre, por ser mi ejemplo de integridad profesional y por permitirme culminar este proceso, por su paciencia y consejo profesional en diferentes etapas del desarrollo de este proyecto, por su impulso y creer en mis capacidades.

A mis hermanas Valentina y María José, a mi prima Sofía, por su apoyo y alegría en los días de estrés, por la paciencia que tenían en las noches largas, agradezco cada uno de los momentos de aliento que me dieron a lo largo de este proceso, y por las sonrisas que me entregaron en los días tristes.

A mis compañeros de trabajo, que me acompañaron durante el final de este proceso y me brindaron su apoyo en los días largos, agradezco cada enseñanza que me va permitir desarrollarme como una mejor profesional, por explotar en mí, capacidades que no conocía y por los momentos de alegría en los días de difíciles.

A mi compañera Verónica por su infinita paciencia, y por ayudarme en los momentos difíciles en los que fue mi roca y me permitió continuar este proceso y culminarlo, por dar de su tiempo para que este proceso fuera posible.

Finalmente, a mis amigas Andrea, Natalia, Laura, Lina y Julieth, que hicieron parte importante de este proceso desde el inicio, con sus palabras de aliento y todas aquellas largas noches, agradezco la fortaleza que me brindaron en momentos difíciles durante el final de este proceso.

Vivian Alejandra Jiménez Ciro

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo del proyecto, se contó con el apoyo de personas quienes aportaron conocimientos y experiencia para lograr solucionar obstáculos o brindar consejos haciendo posible la finalización de este, agradeciendo principalmente a:

La empresa ETERNA S.A por darnos una oportunidad de desarrollar el proyecto de grado, el tiempo otorgado de los trabajadores y administradores.

Al Tecnoparque del SENA, por permitirnos utilizar sus instalaciones para el desarrollo del proyecto y a los colaboradores de los laboratorios en donde se realizó el proceso de caracterización.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	21
1.1.1 Pre tratamiento y tratamientos primarios	21
1.1.2 Tratamientos terciarios	27
1.2 TIPOS DE ESCALAS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA	31
1.2.1 Escala de laboratorio	31
1.2.2 Escala piloto	31
1.2.3 Escala industrial	31
2. DIAGNÓSTICO	34
2.1 PROCESO PRODUCTIVO DE GUANTES LÁTEX	34
2.1.1 Materias Primas	34
2.1.1.1 Caucho	35
2.1.1.2 Látex	36
2.1.1.3 Agua	37
2.1.2 Proceso de producción	37
2.1.2.1 Etapas del proceso de producción de guante de caucho látex	38
2.2. FUENTES GENERADORAS DEL AGUA RESIDUAL	42
2.2.1 Balance hídrico	42
2.2.1.1 Consumo doméstico	44
2.2.1.2 Consumo industrial	45
2.2.1.3 Balance hídrico total	46
2.3. DISPOSICIÓN ACTUAL DEL VERTIMIENTO	48
2.4. PARÁMETROS CRÍTICOS DEL AGUA RESIDUAL	49
2.4.1 Parámetros de calidad del agua que influyen en el proceso de clorinación	49
2.5. CARACTERIZACIÓN	51
2.5.1 Descripción del muestreo	51
2.5.2 Caracterización y resultados del agua residual	51
2.5.3 Análisis de los parámetros críticos	55
3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN LA FASE DE CLORINACIÓN DE ETERNA S.A	58
3.1 PARÁMETROS A EVALUAR	58
3.1.1 pH	58
3.1.2 DQO (Demanda química de oxígeno) y DBO (Demanda bioquímica de oxígeno)	59
3.1.3. Cloruros	59
3.1.4. Conductividad	60

3.1.5. Dureza total	60
3.2. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS	60
3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN	61
3.4. MATRIZ DE SELECCIÓN	61
3.4.1 Cuantificación matriz de selección método de Kepner y Tregoe	63
3.4.2 Cuantificación matriz de selección Pugh	64
3.4.3 Matrices de selección para DQO y DBO	64
3.4.3.1 Selección de coagulante	66
3.4.3.2 Dosificación óptima	68
3.4.3.3 Selección de floculantes	69
3.4.4 Matrices de selección para cloruros, conductividad y dureza total	70
3.5 METODOLOGÍA	74
3.5.1 Variables	74
3.5.2 Descripción metodológica de la alternativa seleccionada	75
3.5.3 Recursos y materiales disponibles	77
3.6 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	78
3.6.1 Pre-experimentación	78
3.6.1.1 Neutralización	78
3.6.1.2 Coagulación y floculación	80
3.6.2 Discusión de resultados pre-experimentación	85
3.6.2.1 Descripción del muestreo	85
3.6.2.2 Caracterización del efluente tratado (pre-experimentación)	85
3.6.2.3 Análisis de parámetros	86
3.6.3 Experimentación	89
3.6.3.1 Neutralización	89
3.6.3.2 Coagulación y floculación	89
3.6.3.3. Filtración (Filtro multimedia)	89
3.6.3.4 Ultrafiltración	92
3.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN	94
3.7.1 Descripción del muestreo	94
3.7.2 Caracterización de experimentación	94
3.7.3 Análisis de parámetros	95
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	97
4.1 CIRCUITO DEL EFLUENTE	97
4.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	99
4.2.1 Tanque de homogenización	99
4.2.2 Unidad de pH	103
4.2.3 Clarificador	104
4.2.4 Filtros multimedia	107
4.2.4.1 Lecho combinado	109
4.3 DOSIFICACIONES	111
4.3.1 Hidróxido de sodio	112
4.3.2 Cloruro férrico	112
4.3.3 L-550A	113

4.4 UBICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONA	113
4.4.1 Diagrama PFD	113
5. ESTIMACIÓN DE COSTOS	115
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN	115
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN	116
5.2.1 Materias Primas	116
5.2.2 Servicios energéticos	116
5.2.3 Mano de obra	117
5.3 COSTOS TOTALES	118
6. CONCLUSIONES	119
7. RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	126

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de tratamientos de aguas residuales industriales.	21
Tabla 2. Combinaciones y recubrimientos para la elaboración de aguantes.	34
Tabla 3. Consumo diario doméstico e industrial de agua en ETERNA S.A.	42
Tabla 4. Consumo diario doméstico de agua en ETERNA S.A.	43
Tabla 5. Consumo hídrico por operación en el proceso de producción de guantes de látex en la empresa ETERNA S.A.	45
Tabla 6. Caracterización agua suministrada al proceso de clorinación.	49
Tabla 7. Caracterización de parámetros críticos del agua residual del proceso de clorinación para la empresa ETERNA S.A.	55
Tabla 8. Comparación de resultados de caracterización con normatividad.	56
Tabla 9. Factores técnicos.	62
Tabla 10. Factores económico.s	62
Tabla 11. Factores operativos.	63
Tabla 12. Porcentajes de los criterios de evaluación.	63
Tabla 13. Valores para los niveles de evaluación.	64
Tabla 14. Valores para los conceptos de evaluación matriz pugh.	64
Tabla 15. Matriz de selección método de Kepner y Tregoe para DQO y DBO.	65
Tabla 16. Matriz de selección Pugh para DQO y DBO.	66
Tabla 17. Coagulantes seleccionados.	70
Tabla 18. Floculantes seleccionados.	70
Tabla 19. Matriz de selección método de Kepner y Tregoe para cloruros, conductividad y dureza total.	71
Tabla 20. Matriz de selección Pugh para cloruros, conductividad y dureza total	71
Tabla 21. Índice de Willcomb.	76
Tabla 22. Parámetros para ensayos coagulación-floculación.	80
Tabla 23. Especificaciones ensayo No.1.	81
Tabla 24. Determinación dosis optima de floculante.	82
Tabla 25. Especificaciones ensayo 2.	83
Tabla 26. Determinación dosis optima de floculante.	83
Tabla 27. Especificaciones ensayo 3.	84
Tabla 28. Determinación dosis optima de floculante.	84
Tabla 29. Resultados caracterización agua tratada ensayo 1.	85
Tabla 30. Resultados caracterización agua tratada ensayo 3.	86
Tabla 31. Comparación de resultados.	86
Tabla 32. Selección lechos filtrantes.	90
Tabla 33. Especificaciones experimentales del filtro.	92
Tabla 34. Especificaciones técnicas unidad de ultrafiltración.	93
Tabla 35. Resultados caracterización agua tratada experimentación final.	95
Tabla 36. Intervalos de diseño de los medios filtrantes.	108
Tabla 37. Costos de equipos.	115
Tabla 38. Costos de reactivos.	116

Tabla 39. Costos de servicios.	116
Tabla 40. Mano de obra para un operario.	117
Tabla 41. Costos totales primer año.	118

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Grafica 1. Consumo hídrico contador 1 Agosto-Septiembre 2019.	46
Grafica 2. Consumo hídrico contador 2 Agosto-Septiembre 2019.	47
Grafica 3. Concentraciones óptimas de sulfato de aluminio respecto a la disminución de turbidez.	69
Grafica 4. Curva típica de neutralización de agua residual con adición de NaOH.	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de funcionamiento de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF).	24
Figura 2. Esquema de funcionamiento de un sistema de flotación por aire inducido.	24
Figura 3. Desestabilización de cargas eléctricas en el proceso de coagulación.	25
Figura 4. Formación de flocs de coloides desestabilizados.	26
Figura 5. Principio de funcionamiento membranas de ósmosis inversa.	28
Figura 6. Representación de una membrana asimétrica.	30
Figura 7. Representación de una membrana compuesta de capa fina.	30
Figura 8. Polímero isopreno en configuración cis y trans.	35
Figura 9. Diagrama PFD del proceso productivo de guantes de látex.	37
Figura 10. Mecanismo de reacción gas cloro-agua en el proceso de clorinación.	40
Figura 11. Volumen de control del proceso de producción de guantes de caucho látex en la empresa ETERNA S.A.	41
Figura 12. Balance hídrico ETERNA S.A.	47
Figura 13. Determinación de pH método electrométrico.	52
Figura 14. Determinación de conductividad.	52
Figura 15. Determinación de turbidez..	53
Figura 16. Determinación de sólidos disueltos totales (SDT).	53
Figura 17. Determinación demanda química de oxígeno (DQO).	54
Figura 18. Membranas Hollow Fiber para ultrafiltración.	73
Figura 19. Diámetros típicos para la evaluación del floc.	76
Figura 20. Neutralización del agua residual con NaOH al 10% v/v.	79
Figura 21. Soluciones de floculantes al 0,1% v/v.	81
Figura 22. Ensayo 1 determinación dosis óptima de coagulante y floculante.	82
Figura 23. Ensayo 2 determinación dosis óptima de coagulante y floculante.	83
Figura 24. Ensayo 3 determinación dosis óptima de coagulante y floculante.	84
Figura 25. Coagulación por barrido.	88
Figura 26. Filtro multimedio.	91
Figura 27. Unidad de ultrafiltración.	94
Figura 28. Volumen de sólidos sedimentados.	97
Figura 29. Diseño tanque homogeneizador.	103
Figura 30. Diseño tanque clarificador.	107
Figura 31. Diseño de filtro multimedio.	111
Figura 32. Diagrama PFD de la alternativa seleccionada.	114

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Calculo del caudal domestico total en ETERNA S.A.	44
Ecuación 2. Caudal industrial total para el proceso de producción de guantes látex en ETERNA S.A.	45
Ecuación 3. Blance de materia del agua consumida en ETERNA S.A.	45
Ecuación 4. Calculo del caudal total de agua en ETERNA S.A.	46
Ecuación 5. Cuantificación de los resultados de la matriz de selección.	64
Ecuación 6. Porcentaje de remoción.	77
Ecuación 7. Relación de neutralización.	80
Ecuación 8. Porcentaje de recuperación del clarificador.	98
Ecuación 9. Porcentaje de recuperación fase de filtración.	98
Ecuación 10. Caudal de producto final.	98
Ecuación 11. Volumen tanque homogeneizador.	100
Ecuación 12. Volumen de un cilindro.	100
Ecuación 13. Diámetro tanque homogeneizador.	101
Ecuación 14. Altura del tanque homogeneizador.	101
Ecuación 15. Longitud de la paleta del homogeneizador.	102
Ecuación 16. Diámetro del disco central del homogeneizador.	102
Ecuación 17. Potencia necesaria del agitador.	102
Ecuación 18. Volumen tanque homogeneizador.	104
Ecuación 19. Diámetro del tanque clarificador.	104
Ecuación 20. Altura del tanque clarificador.	104
Ecuación 21. Dimensiones la sección cónica.	105
Ecuación 22. Volumen de un cono.	105
Ecuación 23. Volumen de un cilindro.	106
Ecuación 24. Altura total del tanque clarificador.	106
Ecuación 25. Potencia necesaria del agitador.	106
Ecuación 26. Profundidad del lecho combinado.	109
Ecuación 27. Área de filtracion del lecho combinado.	110
Ecuación 28. Volumen del filtro de lecho combinado.	110
Ecuación 29. Diámetro del filtro multimedio.	110

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Resolucion 631 del 2015.	127
Anexo B. Caracterizacion inicial del agua residual alimentada a la fase de clorinación.	132
Anexo C. Resolución 1207 del 2014.	134
Anexo D. Reactivos comunes para el proceso de neutralizacion en aguas redisules.	138
Anexo E. Ficha tecnica del sulfato de aluminio dada por la empresa aldar quimica s.a como reactivo coagulante utilizado en la fase de preexperimentación.	140
Anexo F. Ficha tecnica del pac dada por la empresa ALDAR QUIMICA S.A como coagulante utilizado en la fase de pre-experimentación.	142
Anexo G. ficha de seguridad del cloruro ferrico dada por la empresa LIPESA S.A utilizado en la fase de pre-exerimentacion y experimentación.	144
Anexo H. Ficha tecnica del reactivo L-550A dado por la empresa LIPESA S.A coagulante utilizado en la fase de pre-experimentacion y experimentación.	146
Anexo I. Ficha tecnica del reactivo L-1547M dado por la empresa LIPESA S.A floculante utilizado en la fase de pre-experimentación.	149
Anexo J. Ficha tecnica del reactivo L-1538 dado por la empresa LIPESA S.A floculante utilizado en la fase de pre-experimentación.	152
Anexo K. Calculos pertinntes preparacion solucion de hidroxido de sodio al 10%.	155
Anexo L. Cotizacion ultrafiltracion y osmosis inversa dado por la empresa AGUANOVA para la fase de e experimentación.	157
Anexo M. Cotizacion materias primas necesarias para llevar a cabo la alternativa dada por la empresa LIPESA S.A.	159
Anexo N. Cotizacion equipos dado por la empresa AGUAS SISTEMAS Y SOLUCIONES INTEGRALES S.A.	162
Anexo O. Balance de energía consumo total del sistema.	177
Anexo P. Tablas para la elección del diametro nominal y diametro interior.	183
Anexo Q. Parametros de rugosidad.	186

RESUMEN

La empresa ETERNA S.A consume actualmente una amplia cantidad de agua para los diferentes procesos productivos entre ellos se encuentra la producción de guantes de látex, en donde se genera gran parte de efluente específicamente en la fase de clorinado, actualmente cuenta con una planta PTAR en donde se reúnen todos los tipos de efluentes líquidos y se le hace el debido proceso para poder cumplir con los rangos permisibles de vertimientos industriales especificados en la Resolución 0631 de 2015; sin embargo lo que se busca es disminuir en gran parte el consumo extensivo de agua potable en la empresa, es por esto que se busca una alternativa para la posible reutilización del efluente generado en la fase de clorinación.

Para solucionar esta problemática se hizo una descripción general de la empresa y proceso productivo, posteriormente se evaluó el consumo de agua por medio de un balance hídrico para poder así realizar una caracterización de los diferentes tipos de efluentes a tratar en donde se evaluaron alrededor de siete parámetros, siendo estos DBO₅, DQO, SDT, dureza, conductividad, pH, y cloruros, en donde se estudiaron la relevancia de cada uno de estos en el proceso y como afectan en el producto final, de acuerdo con esto se seleccionó la alternativa de tratamiento más adecuada para tratar el cual incluye procesos como neutralización, coagulación y floculación, filtración y ultrafiltración. Posterior al desarrollo experimental de los procesos ya mencionados se obtuvieron resultados favorables respecto a la disminución de parámetros críticos seleccionados en el efluente.

Por último, se procedió a realizar el dimensionamiento de los equipos para su posible implementación a escala industrial y así culminar con el cálculo de los costos operativos y de inversión.

Palabras claves: Agua residual industrial, industria látex, proceso de clorinación, tratamiento de aguas residuales, floculación, coagulación, neutralización, intercambio iónico, ultrafiltración.

INTRODUCCIÓN

Eterna S.A es una empresa dedicada a la producción, comercialización y distribución de productos para la limpieza, entre los cuales se encuentran los guantes de caucho látex, cuyo proceso productivo genera una de los mayores caudales de vertimiento con respecto a los efluentes residuales.

La problemática radica en la fase de clorinación específicamente en la producción de guantes ya que en este proceso se utiliza 1,5 m³ de agua/ciclo en donde se hacen 16 ciclos/día, para un total de 24m³ de agua residual/día, por lo tanto, se busca reducir los costos asociados al uso de agua en el proceso de clorinación así como también lograr reducir el consumo de lo que es uno de los recursos más importantes actualmente, como lo es el agua, por medio de una posible reutilización del efluente tratado en la misma unidad.

Se evaluó el estado actual del efluente mediante un diagnóstico el cual indicará qué parámetros están elevados y a qué nivel, se establecieron condiciones en las que el efluente será adecuado para reutilizar en la fase de clorado.

A partir de este punto se evaluó en términos experimentales la alternativa más óptima en tratar el agua residual iniciando con tratamientos primarios como la coagulación y floculación siendo este el proceso más utilizado para remoción de materia orgánica, turbidez, color entre otros, adicional a estos tratamientos se pueden sumar aquellos de carácter terciario para afinar aún más los parámetros del efluente suficiente para hacer un correcto reusó del agua tratada.

Teniendo en cuenta las necesidades de la empresa en disminuir costos operativos y aprovechar un recurso tan importante como el hídrico, se plantea este trabajo de grado con el fin de dar una posible solución a la problemática planteada, teniendo en cuenta la normatividad vigente de reutilización en efluentes industriales y las necesidades del proceso de clorinación sin que se vea afectada la calidad del producto final.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora para un sistema de tratamiento de agua residual proveniente del proceso de clorinación para su posible reutilización en la empresa ETERNA S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las etapas y materias primas relevantes en el proceso de cloración en la empresa ETERNA S.A.
2. Seleccionar la alternativa de tratamiento que se ajuste a los parámetros de reutilización por medio de un desarrollo experimental.
3. Establecer las especificaciones técnicas de la alternativa seleccionada.
4. Determinar los costos asociados a la alternativa seleccionada.

1. MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo el siguiente proyecto de grado fue necesario realizar la respectiva revisión bibliográfica con el fin de esclarecer los diferentes tipos de tratamientos que se pueden implementar en la reducción de aquellos contaminantes presentes en un efluente residual, de igual forma las indagaciones concretadas en la revisión bibliográfica ayudaran al correcto desarrollo del proyecto.

1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento requerido para aguas residuales depende directamente de los límites permisibles para su vertimiento en este caso en específico; los requeridos para su reutilización. Las normas de calidad que se toman como referencia dependen exclusivamente del uso que le vaya a dar al agua. En la **Tabla 1**, se puede encontrar una clasificación general de los tipos de tratamientos utilizados para aguas residuales.

Tabla 1. Tipos de tratamientos de aguas residuales industriales.

Tratamientos primarios.	Tratamientos secundarios.	Tratamientos terciarios.
Cribado	Lodos activados	Micro tamizado
Sedimentación	Aireación prolongada	Filtración
Flotación	Estabilización por contacto	Precipitación y coagulación
Separación de aceites	Lagunaje con aireación	Adsorción (carbón activado)
Homogenización	Filtros biológicos (percoladores)	Intercambio iónico
Neutralización	Tratamientos anaerobios	Osmosis inversa
		Electrodialisis
		Cloración y ozonización

Fuente: RAMALHO, Rubens. Tipos de tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. México: Reverté, 1983. p.9.

1.1.1 Pre tratamiento y tratamientos primarios. Un procedimiento preliminar que se debe considerar antes de darle un tratamiento al agua residual es conocer las opciones de pre tratamiento que en su mayoría son procesos de remoción física de partículas (sedimentos) que puedan estar presentes en el agua, además, del acondicionamiento previo a posteriores tratamientos.

Entre los tipos de tratamiento que se consideran fundamentales para su aplicación en aguas residuales industriales están: cribado, sedimentación, neutralización y homogenización.

- **Cribado:** Es una operación que se utiliza con frecuencia para retener sólidos gruesos que se encuentran flotando o suspendidos en el agua, mediante

dispositivos con aberturas que presentan un tamaño uniforme con el fin de lo lograr la retención de estos. Según Ramalho Rubens, las rejillas de finos tienen aberturas menores o iguales a 5 mm, mientras que las rejillas de gruesos las aberturas se encuentran en valores de 4 a 9 cm¹

- Sedimentación: Es una operación que se lleva a cabo con el fin de realizar la separación de sólidos en suspensión. Esta se basa en la diferencia de peso específico entre partículas sólidas y el líquido donde se encuentran presentes. Existen tres tipos principales de sedimentación; discreta, con floculación y por zonas.
 - Sedimentación discreta: Este tipo de operación se basa principalmente, en una partícula que no altera su forma, tamaño o peso durante la misma. Lo cual quiere decir que, al entrar en contacto con un líquido en reposo, se acelera hasta que la fricción de fluido esta en equilibrio con la fuerza impulsora.
 - Sedimentación por floculación: Es una operación que ocurre cuando una disolución está muy diluida, como afirma Machuca David, la sedimentación no ocurre de manera espontánea, de esta manera se hace necesario un agente externo (floculante) para que se precipite por acción de la gravedad².
 - Sedimentación por zonas: Este tipo de sedimentación ocurre cuando las fuerzas de interacción entre partículas son lo suficientemente fuertes para intervenir en la operación, de esta manera las partículas permanecen en posiciones que se pueden considerar relativamente fijas. Es común encontrar este tipo de sedimentación en decantadores secundarios y sedimentación química.
- Flotación: Proceso utilizado para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas presentes en una fase líquida. Este se lleva a cabo introduciendo un gas que por lo general es aire, en forma de burbujas dentro de la misma. Según Ramalho Rubens, la fase líquida debe ser sometida de proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento entre 2 y 4 atmósferas³
- Neutralización: Este tipo de tratamiento de aguas residuales, se considera de gran importancia debido a que se utiliza con frecuencia previo a la descarga de aguas residuales a un medio receptor o alcantarillado. Los métodos de neutralización incluyen: a. homogeneización y b. control directo de pH.

¹ RAMALHO, Rubens. Tipos de tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. México: Reverté, 1983. p.14.

² IGNACIO, David y HERVÁS, Miriam. Operaciones unitarias y procesos químicos. IC Editorial. 2014. p.43.

³ RAMALHO, Rubens. Tipos de tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. México: Reverté, 1983. p.15.

- a. Homogeneización: Consiste en la mezcla de corriente de agua residual con dos objetivos principales: reducir la variación que se pueda presentar las corrientes mezcladas con el fin de obtener caudales relativamente constantes; y aminorar las variaciones de DBO del efluente que se busca tratar.
- b. Control directo: Los procesos de homogeneización de control directo de especial interés, son aquellos utilizados para aguas residuales ácidas, teniendo en cuenta que los que son aplicados con mayor frecuencia en la industria son: lechos de caliza, neutralización por cal, hidróxido de sodio (NaOH), carbonato de sodio (Na₂CO₃) y amoníaco (NH₃).

Según Ramalho, para hacer una selección adecuada del reactivo más compatible para llevar a cabo la neutralización se tienen en cuenta diversos factores, entre los cuales se encuentra; coste de compra, capacidad de neutralización y velocidad de reacción⁴.

Tratamientos primarios

Los tratamientos de aguas residuales de tipo primarios están basados en la reducción de los sólidos en suspensión de la misma y procesos de separación sólido-líquido

- Flotación: Proceso utilizado para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas presentes en una fase líquida, este se lleva a cabo introduciendo un gas que por lo general es aire, en forma de burbujas dentro de la misma. Según afirma Forero, estos procesos se llevan en diferentes etapas, a) generación y distribución de micro burbujas en el agua por trata, b) colisión entre las micro burbujas y las partículas suspendidas en el agua, c) contacto interfacial del sistema partícula/burbuja, d) arrastre de otras partículas que se encuentran en la trayectoria de los aglomerados que ya se han formado y e) ascenso del aglomerado a la superficie donde debe removerse⁵.

Existen, además, dos sistemas utilizados con frecuencia y están en función de cómo se introduce el líquido;

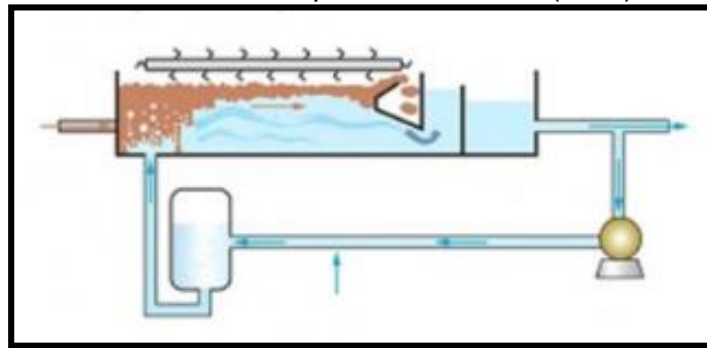
- Flotación por aire disuelto: Este sistema consiste en introducir el aire en el sistema que contenga el agua residual bajo una presión considerablemente alta de varias atmosferas, para de esta manera favorecer el contacto interfacial de las partículas coloidales y las burbujas.

⁴ RAMALHO, Rubens. Tipos de tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. México: Reverté, 1983. p.15.

⁵ FORERO, J.E. DIAZ, J. BLANDÓN, V.R. Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. Colombia: Instituto Colombiano del Petróleo. 1999. p. 68.

En los equipos que se utilizan para este tipo de tratamientos consisten de diversos elementos tales como un tanque de saturación y finalmente la unidad de flotación consiste en un esquema de bombas donde se presenta la reducción de presión necesaria para lo formación de micro burbujas.

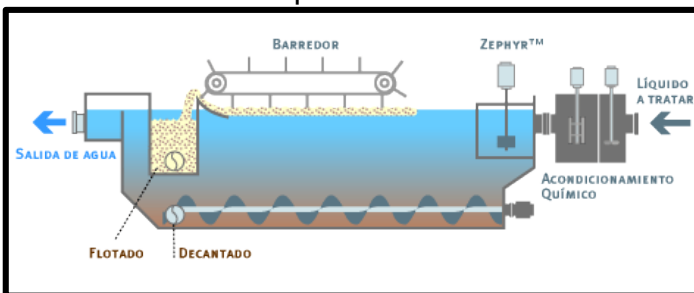
Figura 1. Esquema de funcionamiento de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF).



Fuente: LEF INGENIEROS [Sitio Web]. Recuperación y valorización de aceites y grasas mediante flotación por aire disuelto. [Consultado: 27 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.lefingenieros.com/recuperacion-y-valorizacion-de-aceites-y-grasas-mediante-flotacion-por-aire-disuelto/>

- Flotación por aire inducido: La operación de este tipo de sistemas es muy similar al sistema presentando con anterioridad, la generación de burbujas se realiza por medio de difusores de aire, los cuales se encuentran localizados por lo general en la parte inferior de equipo, o se induce mediante rotores o agitadores, produciendo así una mayor cantidad de burbujas.

Figura 2. Esquema de funcionamiento de un sistema de flotación por aire inducido.



Fuente: NOVARSA.[Sitio web]. Sistemas de flotación por aire inducido. [Consultado: 27 de enero de 2020]. Disponible en: <http://novarsa.com/esp/productos.php?id=3>.

- Coagulación: Es el proceso en donde los componentes de una disolución estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen la

estabilidad de la misma. El fenómeno de desestabilización se realiza con el fin de posteriormente aglomerar los coloides desestabilizados y así lograr su eliminación.

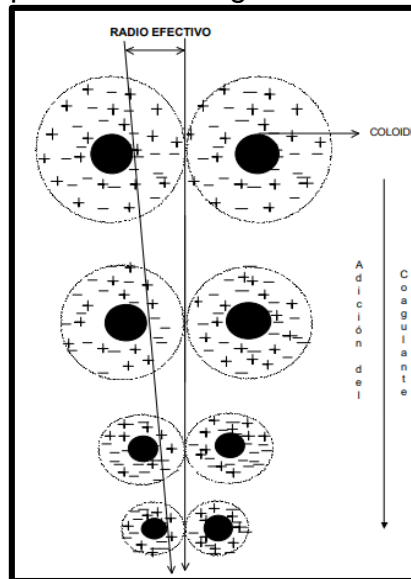
No elimina solamente la turbiedad que es el parámetro crítico que con mayor frecuencia se busca reducir con este tipo de procesos, sino también la concentración de materia orgánica y microorganismos que puedan estar presentes en las aguas residuales a tratar.

Con respecto a las dosis de agentes coagulantes que se debe utilizar, son dependientes directamente del acondicionamiento que tenga el sistema, la utilización de sistemas de decantación, y si es necesaria una clarificación.

La desestabilización de cargas, se puede realizar mediante diversos mecanismos fisicoquímicos:

- a. Compresión de la capa doble.
- b. Adsorción y neutralización de cargas.
- c. Atrapamiento de partículas.
- d. Adsorción y puente.

Figura 3. Desestabilización de cargas eléctricas en el proceso de coagulación



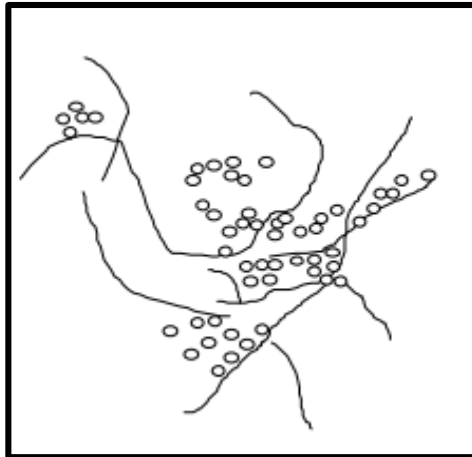
Fuente: ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua. Coagulación y floculación. Perú: SEDAPAL. 2000. p. 10.

Como es posible observar en la **Figura 3**, cuando se hace la adición del agente coagulante y como afirma Andia, Yolanda, se realiza la neutralización de cargas lo

cual produce un colapso en la nube de iones que rodean los coloides de modo que así puedan aglomerarse⁶.

- Floculación: Es un proceso que se realiza posteriormente a la desestabilización de cargas de la coagulación, consiste principalmente en la agitación de los coloides, esto con el fin de favorecer el crecimiento y formación del floc, para que estos se puedan sedimentar con facilidad.

Figura 4. Formación de flocs de coloides desestabilizados.



Fuente: ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Perú: SEDAPAL. 2000. p. 33.

Los agentes utilizados para favorecer la formación de flocs, utiliza como mecanismo los puentes entre las partículas coloidales aglomeradas para así formar floculos de mayor tamaño para que sedimenten con mayor facilidad.

Este tipo de proceso se ve favorecido por una agitación lenta que permite así la formación de los floculos, en el caso de que esta sea excesiva o muy fuerte, se da el rompimiento y dado que ese sea el caso, no se vuelven a formar con el mismo tamaño y fuerza.

Existen dos tipos de floculación; pericinética y ortocinética.

- Floculación pericinética: Esta se produce por el movimiento natural del agua, generalmente se induce por la energía térmica.
- Floculación ortocinética: Esta se basa en las colisiones de partículas como resultado del movimiento del agua, que es inducido por una fuerza externa ya

⁶ ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Perú: SEDAPAL. 2000. p. 10.

sea de origen mecánico o hidráulica. Ocurre primero la floculación pericinética después la ortocinética.

1.1.2 Tratamientos terciarios. Son tratamientos destinados a la refinación del efluente, esto con el fin de obtener una calidad superior, son procesos que se utilizan con poca frecuencia en el tratamiento de aguas residuales industriales, debido a los altos costos de inversión que presentan sus tecnologías; además, son más comúnmente implementados en efluentes de industrias químicas debido a la cantidad de componentes inorgánicos que estas presentan, tales como cloruros o metales pesados.

- **Adsorción:** Este tipo de tratamiento se lleva a cabo en su gran mayoría en filtros de carbón activado como se mencionará más adelante. Según Ramalho, este fenómeno tiene lugar cuando la superficie del sólido (carbón activado) entra en contacto con una solución, en este caso en particular, el efluente residual⁷. La capacidad de adsorción es función de la superficie total de adsorbente.
- **Intercambio iónico:** Es un proceso en donde los iones que están unidos a grupos funcionales (por fuerzas electrostáticas) sobre las superficies de un sólido intercambian iones de diferente especie en una disolución. Se considera de gran importancia su aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales debido a que reduce la cantidad de minerales presentes en la misma en su totalidad. Para este tipo de procesos se utilizan resinas de intercambio iónico; en la actualidad para su aplicación en procesos industriales se utilizan resinas sintéticas tales como estireno y divinil-benceno (DVB).

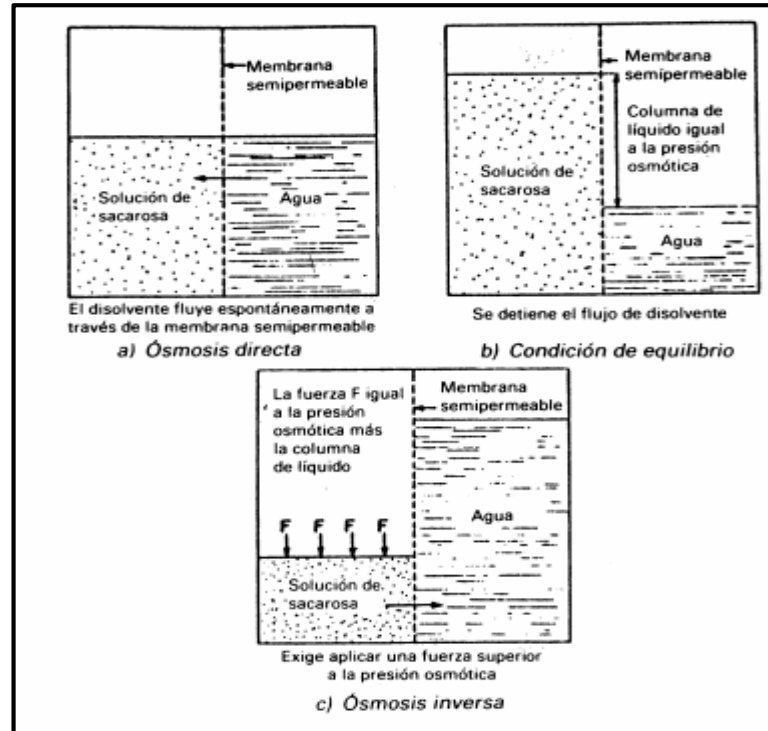
Son polímeros insolubles a los cuales se le añaden grupos básicos o ácidos, a tener en cuenta es que, según el número de grupos funcionales por unidad de peso o volumen, determinará la capacidad de intercambio, mientras que específicamente el grupo funcional permitirá determinar la selectividad iónica y la posición de equilibrio en el intercambio.

Las partículas de resinas tienen diámetros de aproximadamente 0.5 (mm) y se emplean para caudales residuales entre 200 a 500 L/min (m²).

- **Ósmosis inversa:** El tratamiento de aguas residuales mediante ósmosis inversa, se basa en fenómenos de ósmosis directa, donde un disolvente fluye de manera espontánea a través de una membrana semipermeable, para después llegar a una condición de equilibrio como se explica en la **Figura 5**

⁷ RAMALHO, Rubens. Tipos de tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. México: Reverté, 1983. p.9.

Figura 5. Principio de funcionamiento membranas de ósmosis inversa.



Fuente: RAMALHO, Rubens. Principio físico del osmosis inversa. Tratamientos de aguas residuales. México. Reverté. 1983. p.620.

Para este tipo de tratamiento, el efluente residual entra en contacto con una membrana adecuada que presenta una presión superior la presión osmótica que presenta la solución, y como se observa en la **Figura 5**, el agua con un contenido reducido de contaminante pasa a través de las membranas, de esta manera los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento donde se encuentra presenta el agua residual, para finalmente obtener en un compartimiento diferente agua purificada.

- **Ultrafiltración:** Un proceso de ultrafiltración puede definirse como la utilización de una película delgada que ayuda a la separación de dos fases y que, además, actúa como una barrera selectiva al transporte de materia. Estos procesos están diseñados para llevar a cabo separaciones tanto de tipo físico como físico-químico, su objetivo principal es la eliminación de moléculas largas disueltas y partículas coloidales.

Las membranas utilizadas para los procesos de ultrafiltración, puede clasificarse según; los mecanismos de separación, estructura, naturaleza, forma, naturaleza química y carga superficial.

- Mecanismos de separación: Estas membranas se clasifican, además, del tamaño de poro que manejan y de esta manera la forma que realizan las separaciones.

Membranas porosas: Estas producen la separación por diferencias de tamaño y están compuestas por poros finos (macroporos <50 nm, mesoporos 2<50 nm y microporos <2nm)

Membranas no porosas: Se consideran como medios orientados a la separación por difusión de especies. Según Rodríguez Pablo, el fenómeno de difusión tiene lugar en el volumen libre presente entre las macromoléculas del material de la membrana⁸

- Según estructura: Existen dos tipos de membranas cuando se clasifican por su estructura: isótropas y anisótropas.

Membranas isótropas: Este tipo de membranas debido a forma simétrica presentan una alta permeabilidad al solvente y un bajo rechazo a las sales. Su estructura porosa uniforme a lo largo de esta, permite que no existan zonas de mayor densidad.

Membranas anisótropas: En su cara exterior presentan contacto con la solución de aporte, la cual es considerada una capa activa, que permite el paso del solvente y evita el paso del soluto.

- Según su naturaleza: Las membranas anisótropas, es posible clasificarlas a su cómo; asimétricas y compuestas.

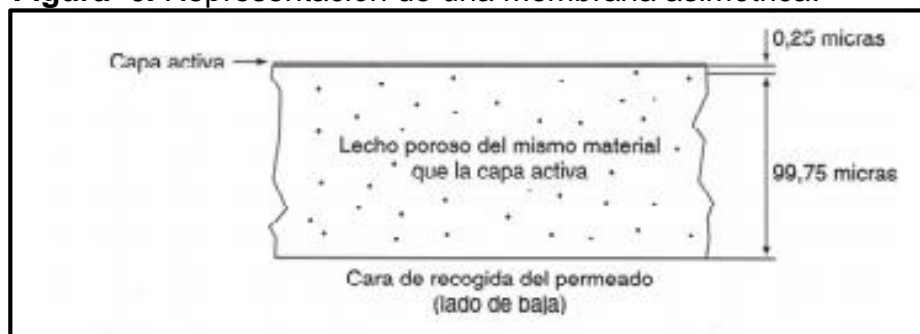
Membranas asimétricas: En este tipo de membranas, el material de la capa externa y el de soporte son el mismo, como se observa en la **Figura 6**.

Membranas compuestas: Este tipo de membranas consta con tres materiales distintos en las capas que utiliza para la separación como se observa en la **Figura 7**;

- a. Capa superior: capa activa
- b. Capa intermedia: Saco poroso soporte de la capa activa.
- c. Capa inferior: Tejido reforzado responsable de la resistencia mecánica de la membrana.

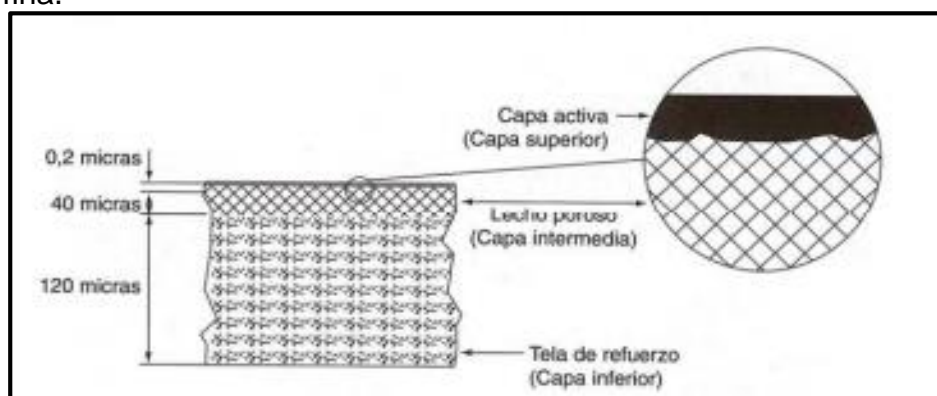
⁸ ROGRIGUEZ, Pablo. JÁCOME, Alfredo y SUAREZ, Joaquin. Filtración en membranas y osmosis inversa (FT-TER-005). Coruña: INDITEX, 2015. p. 3.

Figura 6. Representación de una membrana asimétrica.



Fuente: ROGRIGUEZ, Pablo. JÁCOME, Alfredo y SUAREZ, Joaquín. Filtración en membranas y osmosis inversa (FT-TER-005). Coruña: INDITEX, 2015. p. 4.

Figura 7. Representación de una membrana compuesta de capa fina.



Fuente: ROGRIGUEZ, Pablo. JÁCOME, Alfredo y SUAREZ, Joaquín. Filtración en membranas y osmosis inversa (FT-TER-005). Coruña: INDITEX, 2015. p. 4.

1.2 TIPOS DE ESCALAS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

En el desarrollo del presente proyecto, es importante tener en cuenta los diferentes tipos de escala en los que se llevan a cabo diversos procesos químicos. El concepto más sencillo que se puede dar de escalado es dar el paso de una escala a otra, durante el desarrollo de una nueva tecnología.

Los términos utilizados con mayor frecuencia son el escalado ascendente (scale-up) y escalada descendente (scale-down), las escalas ascendentes van desde la escala laboratorio hasta la industrial y las descendentes es el proceso inverso.

1.2.1 Escala de laboratorio. Un laboratorio se considera la unidad primaria y más efectiva para conocer las condiciones óptimas para obtener los mejores resultados de un proceso, en esta etapa por lo general se confirman o rechazan hipótesis planteadas con anterioridad basadas en revisiones bibliográficas y literatura. De acuerdo a Gonzales Roberto, los objetivos principales de esta etapa, son la obtención, recuperación y purificación de los productos de interés; además, de tener en cuenta otra serie de objetivos tales como⁹;

- Comprender la influencia de las variables macroscópicas en el rendimiento o diversos parámetros que influyen en el sistema.
- Optimización de la síntesis.
- Reconocimiento y desarrollo de la cinética.
- Propiedades físicas y químicas.
- Influencia de reactivos empleados y su incidencia en los cambios de escala.
- Caracterización de subproductos y residuales.

1.2.2 Escala piloto. Esta escala tiene diferentes propósitos, uno de ellos es obtener información de manera experimental para así mismo determinar balances de materia, rendimientos y conocer las cantidades que se esperan obtener del producto de interés. Como lo menciona Pino Osvaldo, la instalación de la planta piloto es de gran importancia ya que permite estudiar procesos con el fin de llevarlos a escala industrial o perfeccionar los mismos, hay que tener en cuenta diferentes aspectos importantes para implementación, como los siguientes¹⁰:

- Los equipos fundamentales son unidades de reacción multipropósito, además, deben operar de manera discontinua. Estos equipos generalmente son; reactores agitados, etc.
- Su diseño debe permitir una operación simple y evitar acumulaciones.
- Los equipos en su instalación deben ser normalizados y con un tamaño similar a los utilizados en la industria.

1.2.3 Escala industrial. En términos generales, este tipo de escala se considera más un proceso de validación de los procesos que se desarrollaron de manera previa en la escala laboratorio y piloto, además, permite obtener información útil sobre la ingeniería del proceso, los modelos matemáticos que forman el proceso, en tal caso de requerir perfeccionamiento u optimización del proceso.

⁹ GONZALES-CASTELLANOS, Roberto. Principios básicos de escalado. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Editorial universitaria del Ministerio de Educación: CUBA. 2000. p. 15.

¹⁰ PINO-GARCIA, Osvaldo. JÁUREGUI-HAZA, Ulises y QUIÑONES-GARCIA, Igor. La planta piloto y el escalado de procesos de obtención de principios activos para medicamentos por síntesis química. Centro de química farmacéutica. CUBA. 1997. p.8.

Es importante tener en cuenta que la mayoría de procesos que se instalan a nivel laboratorio o piloto, son diseñados a partir de una ingeniería inversa (scale-down) de una instalación industrial ya existente.

2. DIAGNÓSTICO.

Las fuentes de generación de agua residual industrial provenientes de diversos procesos de producción y su posterior vertimiento es una problemática crítica debido al alto impacto ambiental resultado de estas actividades. Para determinar las fuentes de generación de agua residual y su aporte en términos de caudal volumétrico con respecto a la cantidad a tratar, se llevarán a cabo estudios, así como análisis químicos para determinar finalmente cuáles son los parámetros críticos que afectan de manera significativa el proceso de clorinación y, además, su correlación con la normativa vigente para la reutilización de agua residual industrial.

2.1 PROCESO PRODUCTIVO DE GUANTES LÁTEX

Para la producción de guantes de caucho de uso doméstico, e industrial, se pueden emplear diversas materias primas dependiendo de las características que se quieran obtener en el producto final; de igual forma, se debe tener en cuenta el proceso de producción ya que a partir de estos dos elementos se estima la calidad, tipo y propiedades del guante.

2.1.1. Materias Primas. En cuanto a la producción de guantes en general existen diversas materias primas para el desarrollo de este tipo de producto, comúnmente se puede encontrar guantes hechos a base de dos materiales:

- Piel: Es un producto natural y flexible el cual se caracteriza por su durabilidad, destreza y resistencia térmica, para mejorar aún más las características de este material natural se somete a diversas técnicas como hidrofugado, óleo-hidrofugado y antitérmico, estas técnicas tienen como principal objetivo aumentar la resistencia respecto al contacto del guante con diversas materias (agua, aceites, calor).
- Fibras: Existen un gran número de fibras, pero las más comunes para la fabricación de guantes son algodón, poliamida (Nylon), poliéster y HDPE (Polietileno de alta densidad).

Sin embargo y para la producción de guantes en la actualidad se utilizan revestimientos y combinaciones para mejorar sus propiedades o que sean más específicas dichas propiedades.

Existen diversas combinaciones de materiales mencionados anteriormente las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Combinaciones y recubrimientos para la elaboración de aguantes.

Combinaciones	Recubrimiento	Propiedades
Tejido de algodón/poliéster	Látex	Para trabajos generales
Tejido de nylon	Poliuretano	Para trabajos delicados
Soporte de algodón/poliéster	Nitrilo	Resistencia aceites y productos químicos
Soporte de algodón/poliéster	PVC (Polímero sintético)	Protección contra el frío
Tejido de nylon/Thunderon	PU (Poliuretano)	Para disipación de la electricidad estática

Fuente: RUYVI VESTUARIO. Combinaciones y recubrimientos [en línea]. Materias primas de guantes. Córdoba. 2017. [Consultado 30 de enero de 2020]. Disponible en: <http://www.ruyvivestuario.es/blog/materia-primas-de-guantes/>.

2.1.1.1 Caucho. Es una sustancia de gran elasticidad el cual se obtiene por una práctica comúnmente llamada “sangrado”, consiste en hacer un corte inclinado en la corteza del árbol de hule para recoger al final una sustancia de color blanco donde se encuentra el caucho¹¹.

Los principales componentes del caucho son:

- Hidrocarburo del caucho (30-36%)
- Cenizas (0,37-0,7%)
- Proteínas (1-2%)
- Resina (2%)
- Quebrachito (0,5%)

La composición del caucho varía de acuerdo a la mezcla de látex y esta a su vez depende de la edad del árbol y condiciones climáticas. Se debe tener en cuenta que el 2-metil-1,3-butadieno, 3 (C₅H₈), conocido comercialmente como isopreno o monómero de caucho es el componente principal del caucho natural¹².

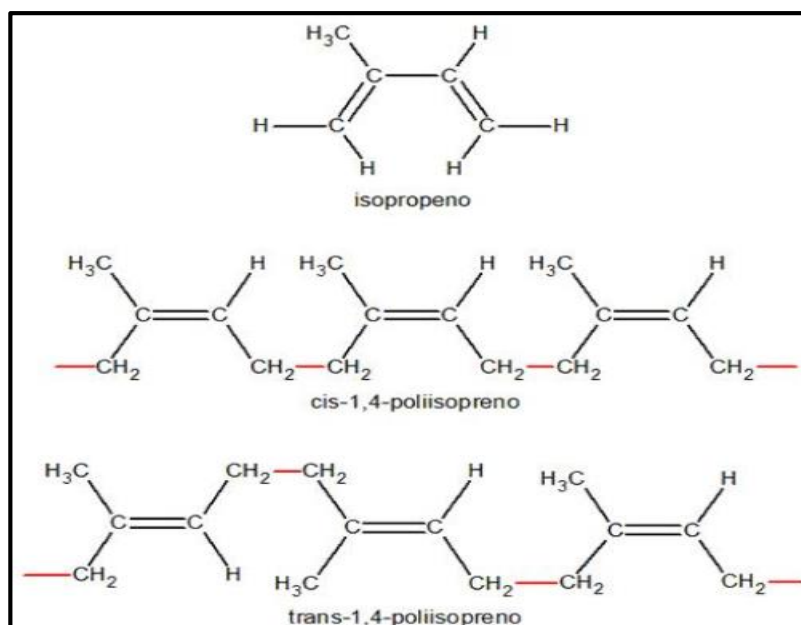
El caucho natural tiene cadenas largas y flexibles, fuerzas intermoleculares débiles y enlaces intermoleculares ocasionales debido a esto al no tener sustituyentes fuertemente polares, la atracción intermolecular queda limitada a las fuerzas de Van Der Waals¹³

¹¹ TEXTOS CIENTIFICOS. Caucho natural. Junio 16 de 2005. [Consultado 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/caucho/natural>

¹² W. Urrego, N. Vasquez, S. Velazquez, C. Carrascal, “Review - Characterization of rubber compounds with post-industrial leather waste”, *Prospectiva*, Vol 15, N° 2, 13-25, 2017.

¹³ TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS. Poliisopreno: Caucho natural y sintético. Bogotá. Julio 5 de 2011. [Consultado 31 de enero de 2020]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/poliisopreno-caucho-natural-y-sintetico.html>

Figura 8. Polímero isopreno en configuración cis y trans.



Fuente: TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS. Poliisopreno: Caucho natural y sintético. Bogotá. Julio 5 de 2011. [Consultado 31 de enero de 2020]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/poliisopreno-caucho-natural-y-sintetico.html>.

Como se observa en la figura anterior se muestra las cadenas del caucho con su isómero trans, esta configuración permite cadenas extendidas que pueden juntarse bien el cual con la configuración cis no es posible. Los enlaces cruzados del caucho se logran por medio de un proceso de vulcanizado.

2.1.1.2 Látex. La empresa Eterna S.A ubicada en Montevideo, Bogotá D.C fabrica sus productos basados en látex de caucho natural siendo esta la principal materia prima que se necesita para iniciar el proceso productivo.

Generalmente el látex proviene del árbol de hule o "*Hevea-brasiliensis*" en donde se saca un líquido, o sustancia, con una pigmentación de color blanca. Esa sustancia es la que conocemos como látex; El látex es una suspensión acuosa en donde se encuentran partículas de caucho, así como también hay presencia de hidrocarburos, grasas y en algunos casos ceras dependiendo de la planta que se extrae la sustancia.

Lo que hace que el guante tenga diferentes características es lo que hay presente en la mezcla de látex dichas propiedades dependen directamente de la formulación en la mezcla el cual contiene estabilizantes, vulcanizantes, aceleradores, protectores (antioxidantes y antiozonantes), cargas, pigmentos, agentes

antimembrana, antiespumantes, bactericidas, viscosantes, y misceláneos¹⁴. Lo que hace que el producto final opte por determinadas propiedades son las diferentes concentraciones de los elementos mencionados anteriormente.

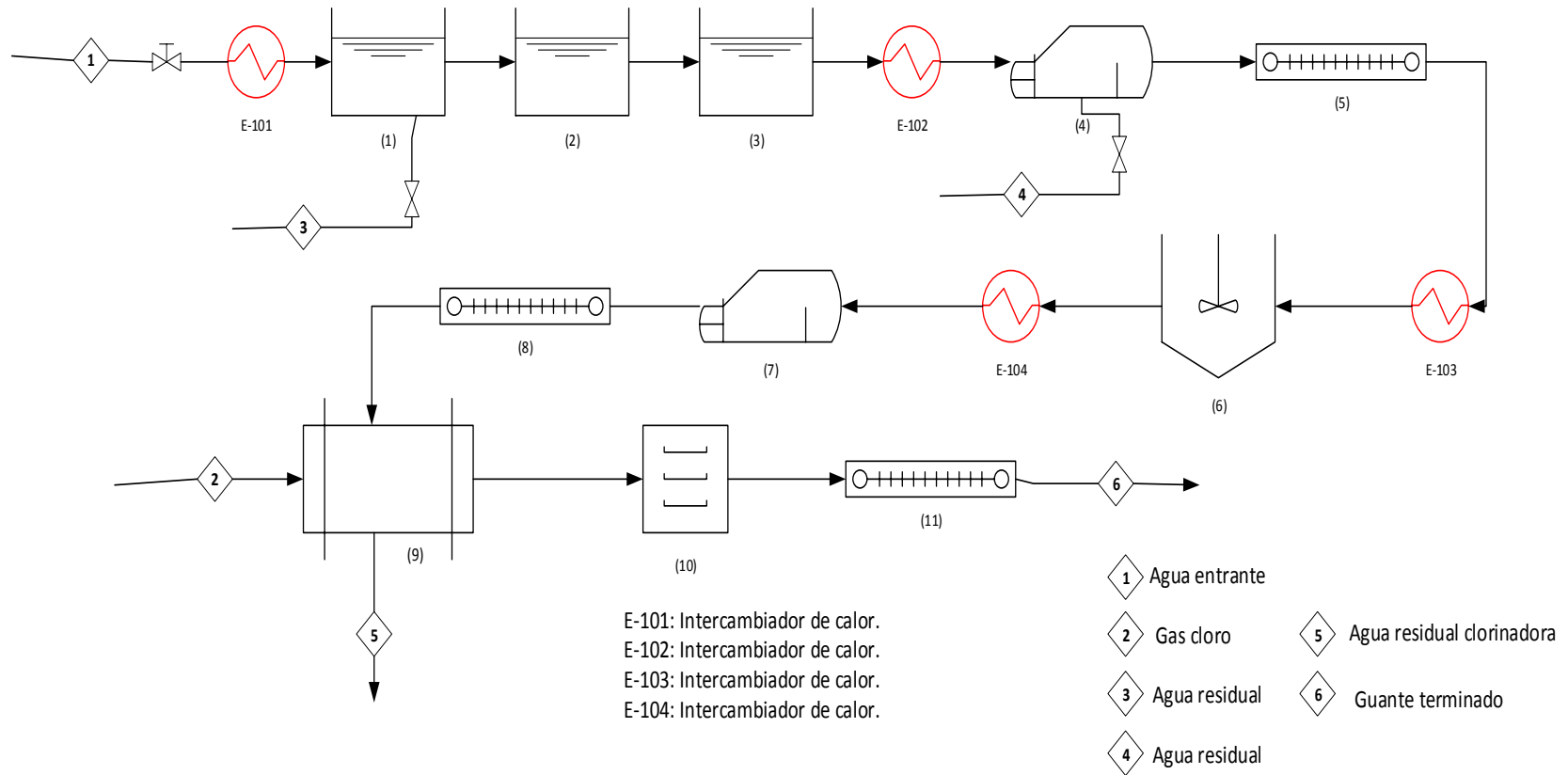
2.1.1.3 Agua. La materia complementaria a las otras dos mencionadas es el agua, actualmente para este tipo de proceso productivo se utiliza agua potable de consumo humano, el cual tiene características neutras que aportan a que el producto tenga los mejores estándares de calidad y funcionalidad.

2.1.2 Proceso de producción. El proceso productivo de las seis referencias que se evaluaron en la caracterización es el mismo, en lo único que difieren es en la mezcla de látex ya que dependiendo de está el guante obtiene diferentes propiedades y características; A continuación, se muestra detalladamente el proceso de producción de guantes de caucho de Eterna S.A. Para cada lote que se produce se tarda un tiempo total de 50 minutos en las máquinas automatizadas de inmersión y vulcanizado, una hora extra para la fase de clorinado y una para el secado final, para un tiempo total de producción de dos horas y cincuenta minutos.

¹⁴ PINEDA, Julián. RANGEL, Henry. Estudio de factibilidad para la creación de una planta procesadora y comercializadora de látex de caucho natural en el municipio de Sabana de Torres (Santander). Bucaramanga, 2016. 192 p. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Santo Tomas. Facultad de Ingeniería Industrial.

2.1.2.1 Etapas del proceso de producción de guante de caucho látex.

Figura 9. Diagrama PFD del proceso productivo de guantes de látex.



Fuente: elaboración propia.

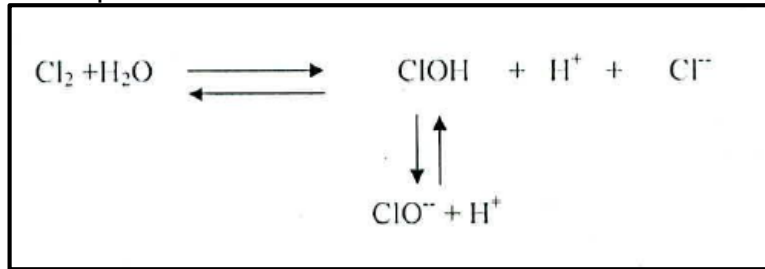
Para las etapas de proceso de producción de guantes de caucho se tiene en cuenta los siguientes pasos que se describen a continuación:

- Limpieza de formadores (1): En esta primera etapa en donde se encuentran los moldes a base de cerámica con forma ergonómica de manos, son sometidos a un proceso de limpieza específico ya que si no se quitan impurezas y excesos de alguna sustancia afectaría el producto final en términos de calidad. En un comienzo los moldes son sumergidos en agua limpia caliente y posteriormente se hace un enjuague con agua fría en tinas que están conectadas a la banda donde se encuentran los respectivos moldes.
- Tanques de coagulantes (2): Se sumergen los formadores ya limpios en unos tanques llenos de un coagulante a base de nitrato de calcio junto con agua durante determinado tiempo. Esto se hace con el fin de lograr mayor adherencia y uniformidad de la mezcla de látex al contacto con los moldes. Una de las variables controladas principales en esta fase es el tiempo ya que a mayor tiempo de inmersión de los moldes en los tanques mayor será el grosor del guante como producto final.
- Secado de los coagulantes: En esta fase se ingresa la línea de moldes a un secado rápido de, no más de diez minutos el cual se hace con el fin de proporcionar mayor uniformidad respecto al coagulante en el molde, para beneficiar posteriormente la inmersión de la mezcla de látex.
- Inmersión (3): En esta fase del proceso se hace finalmente la inmersión de los moldes en la mezcla de látex previamente preparada con determinadas concentraciones que definirán la elasticidad del guante y el tipo de guante según las referencias producidas en la empresa, el tiempo en el que estos moldes son sumergidos en la mezcla es de aproximadamente 15 segundos y esto depende de que propiedades se quiere conseguir en el producto final, en esta fase es donde se hace importante la limpieza de los moldes ya que si no es ejecutada correctamente cuando los moldes se sumergen en el tanque de inmersión se pueden formar agujeros o perforaciones en el guante.
- Secado (4): Así mismo como se seca el coagulante para mejorar uniformidad, de igual manera se quiere lograr lo mismo con los moldes ya sumergidos en látex, es por esto que la banda de moldes pasa por una serie de hornos, estos son llevados a altas temperaturas para que la estabilidad y uniformidad del guante sea la requerida.
- Contramarca del producto (5): Instantáneo al secado de látex el producto es pasado rápidamente por un rodillo en donde tiene contramarcado el nombre de la empresa.

- Lixiviación (6): Se sumerge la línea de moldes en agua a altas temperaturas para disminuir el contenido de proteínas en el látex. Lo que se quiere buscar en esta parte del proceso, es quitar casi en su totalidad las impurezas restantes que se encuentran parcialmente en el producto.
- Vulcanización (7): Se someten los moldes a una serie de hornos, exactamente tres, con presencia de azufre a elevadas temperaturas de alrededor 140 a 180°C. Consta de tres fases, en primera estancia, se hace referencia a un pre-vulcanizado donde el principal objetivo es quitar el máximo de humedad que se encuentra entre la mezcla de látex, y el coagulante; en la segunda parte, que es el vulcanizado se quiere lograr el secado perfecto de la mezcla de látex donde así mismo se quiere buscar un incremento de la resistencia y dureza del guante; y finalmente, una fase de pos-vulcanizado en donde se generan los enlaces del azufre y el polímero de látex.
- Extracción de moldes (8): Se pela el guante de cada uno de los moldes manualmente, adicionalmente se hace una pequeña prueba de calidad del empalme del guante con inyección de aire rápidamente antes de ser llevado al proceso de clorinado.
- Clorinación (9): Generalmente en este proceso los guantes ya desmoldados son sometidos a la inyección de una mezcla de gas-cloro y agua a temperatura ambiente en un promedio de tiempo de una hora, el gas-cloro que se le inyecta tiene una concentración aproximada del 15% ppm; este proceso se hace con dos principales objetivos, terminar de endurecer la superficie del guante ya que al hacer esto el guante tenderá a disminuir su fricción; y así mismo facilitar la postura de los mismos y quitar los últimos excesos de proteínas en donde se generarán determinados enlaces libres en la estructura del guante.

Esta fase consiste en cuatro pasos; el primero en donde ocurre la alimentación gas-cloro y agua en un tanque de clorinado totalmente hermético para evitar escapes del mismo ya que como se sabe el gas-cloro es extremadamente reactivo y oxidante; en seguida, la fase de clorinado en donde la alimentación entra en contacto con el guante y es donde se produce la siguiente reacción general:

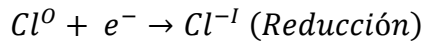
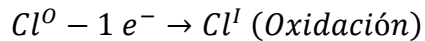
Figura 10. Mecanismo de reacción gas cloro-agua en el proceso de clorinación.



Fuente: KARUNARATNE, Gamini. A Study to Reduce the Level of Chlorination of Examination Gloves While Keeping the Glove Moisture Content (Wet Glove) Low. Sri Lanka, 2007. Tesis Doctoral (Magister en ciencias en polímeros y tecnologías). University of Sri Jayewardenepura, Nugegoda. Facultad de ciencias aplicadas.

La solución forma cloro molecular, ácido hipocloroso, anión hipoclorito, iones de hidrógeno y aniones de cloruro, todo esto en una reacción de tipo reversible.

Se puede ver que es una reacción de reducción –oxidación (redox) ya que el gas-cloro es un agente oxidante y a su vez reductor.



Es entonces donde se logra disminuir en gran parte el contenido de la materia orgánica presente, así como la reducción de parásitos, o bacterias, que se encuentran aún en los guantes.

La tercera fase de este proceso es una neutralización que se hace en la clorinadora en donde se agrega tiosulfato de sodio con el fin de evitar que los agentes clorados formados en la reacción continúen con la formación de contaminantes orgánicos.

Finalmente se tiene que llevar el proceso de desfogue del gas en donde se quiere quitar el exceso de gas-cloro en el lote de guantes clorinado, teniendo en cuenta que la cantidad del gas que se inyectó no será igual en proporción del gas que se desfoga, ya que el gas-cloro tendera a disminuir después de un intervalo de tiempo al igual que por el contacto con el caucho.

- **Secado (10):** Para finalizar el proceso de producción de los guantes se hace una última fase de secado para contrarrestar la estabilidad perdida en la fase de clorinado y afianzar los posibles espacios entre enlaces que hayan quedado en el guante. Este proceso dura dos horas aproximadamente.

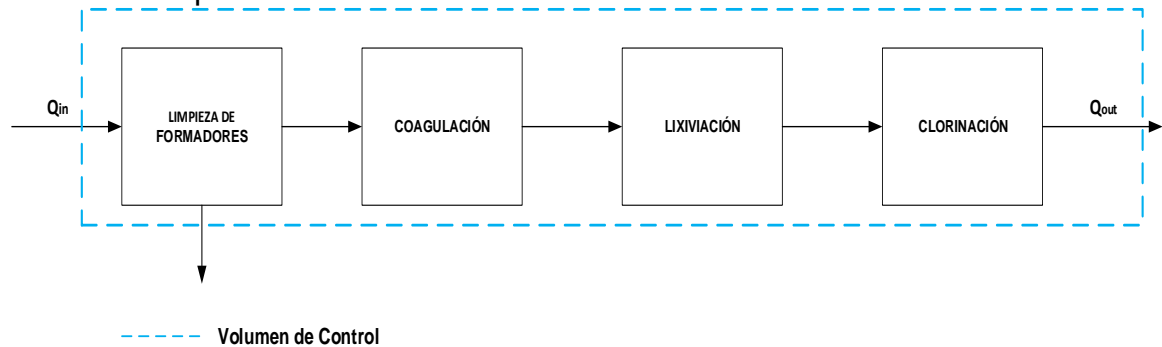
- Pruebas de calidad: Posterior al secado, el producto es llevado al área de prueba en donde se le inyecta aire en dos maneras diferentes, para verificar la parte de la manga del guante y la de los dedos, palma y dorso, esto con el fin de descartar aquellos que se encuentren defectuosos, ya sea por perforaciones, o mal formación del guante.
- Empaque (11): En el área de empaque todo se hace manualmente: cada par de guante es colocado en la banda transportadora y empacado, para posteriormente ser sellado, y empacado en cajas de cartón de una misma referencia.
- Almacenamiento: Las cajas son llevadas por un montacargas en estibas a la bodega en donde se mantienen a temperatura ambiente para finalmente ser distribuidos a los puntos de ventas respectivos.

2.2 FUENTES GENERADORAS DEL AGUA RESIDUAL

El consumo de agua potable en las instalaciones de Eterna es para consumo doméstico, pero mayormente para los procesos productivos de guantes de látex, específicamente en las fases de tanques de lavado, lixiviación y Clorinado, y así mismo se generan vertimientos de la línea de producción de jabones líquidos.

2.2.1 Balance hídrico. El balance hídrico permite categorizar las fuentes principales de gasto de agua residual, para así hacer una equivalencia respecto al consumo que se da sólo en el proceso de clorinación y en el resto de las actividades involucradas en el proceso de producción de guantes de caucho látex. En este caso en específico se tomará en cuenta un volumen de control dentro del proceso ya mencionado, para visualizar con más facilidad las diferentes entradas y salidas de agua, teniendo en cuenta solo las etapas en donde se presente consumo de la misma.

Figura 11. Volumen de control del proceso de producción de guantes de caucho látex en la empresa ETERNA S.A.



Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla 3**, se pueden observar los datos de consumo de agua en la planta de producción de eterna, estos datos son suministrados a partir de los consumos registrados en dos contadores estas cifras fueron proporcionadas por la empresa, y se debe tener en cuenta que el 92% del consumo hídrico total corresponde a actividades de producción de guantes látex, estos datos son para el mes de agosto y septiembre del año 2019, teniendo en cuenta que este tiene un comportamiento similar durante el año, la planta se encuentra en un proceso continuo de producción de guantes, debido a que es uno de los productos que mayor demanda tiene en el mercado, en el cual participa la empresa ETERNA S.A.

Para el abastecimiento de agua potable del proceso de producción de guantes y actividades de tipo doméstico, se utilizan dos contadores: Contador 1 y Contador 2.

Tabla 3. Consumo diario doméstico e industrial de agua en ETERNA S.A.

Día	Contador 1(m ³)	Contador 2 (m ³)	Total (m ³)
1	78	4	82
2	64	4	68
3	86	6	92
4	22	6	28
5	37	2	39
6	115	4	119
7	37	3	40
8	75	5	80
9	34	3	37
10	44	1	45
11	100	5	105
12	34	3	37
13	25	5	30
14	25	6	31
15	55	5	60
16	27	4	31
17	32	3	35
18	31	5	36
19	29	2	31
20	22	8	30
21	61	6	67
22	60	2	62
23	47	5	52
24	31	2	33

Fuente: elaboración propia, con base en ETERNA S.A.

Para el balance hídrico general se tendrá en cuenta en cuenta como la cantidad de entrada de agua utilizada como la sumatoria del consumo total durante los 24 días que se tuvieron en cuenta como referencia para el presente balance hídrico, el día 8 en donde se genera un consumo de 80 m³/día. Esto debido a que es uno de los consumos más altos y para el desarrollo del presente proyecto se tiene en cuenta los días en donde se presenten más ciclos de producción a los que acostumbra normalmente la empresa, esto debido a la alta demanda que se tiene en algunas temporadas del mes.

2.2.1.1 Consumo doméstico. Para conocer el consumo destinado para actividades de tipo doméstico en la planta de producción, se debe tener en cuenta el personal fijo y transitorio, de los cuales se conocen los datos para el personal fijo, ya que la empresa no maneja un registro del personal flotante que se maneja en la misma. En el área de producción trabajan 78 personas, las cuales lo hacen en tres turnos de ocho horas durante seis días a la semana.

Considerando los datos en la **Tabla 3**, se tiene los datos de consumos para los dos contadores que suministran el agua potable, pero es necesario conocer cuál es la cantidad que se utiliza en realidad para actividades domésticas dentro de la planta , para esto se tiene en cuenta la utilización de los baños por los empleados, teniendo en cuenta alrededor de diez lavamanos e inodoros, según la OMS para los grifos de lavamanos se utiliza alrededor de 4 litros por minuto y 8 litros por descarga para los inodoros¹⁵.

Posteriormente es necesario hallar el consumo por persona teniendo en cuenta las actividades diarias del personal fijo, si se consideran alrededor de cuatro lavados de manos y dos usos del inodoro por día.

Tabla 4. Consumo diario doméstico de agua en ETERNA S.A.

	Flujo de agua (m³/s)	Tiempo de consumo (s)	Frecuencia de uso (día/persona)	Total consumo (m³ día/persona)
<i>Inodoro</i>	0,008	-	2	0,016
<i>Lavamanos</i>	0,004	60	4	0,096
	Total (m ³ /día-persona)			0,112

Fuente: Elaboración propia con datos de la OMS. FUNDACIÓN AGUAE. Consumo hídrico estándar durante un día [infografía]. España. 2018. [Consultado en 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/si-reducimos-nuestras-duchas-5-minutos-ahorramos-100-litros-agua>.

¹⁵ FUNDACIÓN AGUAE. Consumo hídrico estándar durante un día [infografía]. España. 2018. [Consultado en 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/si-reducimos-nuestras-duchas-5-minutos-ahorramos-100-litros-agua>

Con los datos obtenidos en la **Tabla 4**, se procede a realizar los cálculos correspondientes para conocer el caudal residual para las actividades domésticas realizadas por 78 empleados trabajando en la planta, registrando un caudal diario de 8,736 m³.

Finalmente, se determina la cantidad de agua consumida en actividades domésticas mediante la **Ecuación 1**.

Ecuación 1.
Calculo del
caudal
domestico total
en ETERNA
S.A.
 $Q_D = Q_{p.f} + Q_{p.t}$

Donde:

Q_D: Caudal residual total de agua doméstica.

Q_{p.f}: Caudal correspondiente al personal fijo.

Q_{p.t}: Caudal correspondiente al personal transitorio.

$$Q_D = 8,736 \frac{m^3}{día}$$

2.2.1.2 Consumo industrial. De manera similar al caso anterior, en la **Tabla 3**, se puede observar los consumos registrados en los contadores que miden el ingreso de agua potable en la planta, por eso es necesario conocer cuál es el consumo real en el proceso de producción de guantes látex, teniendo en cuenta que según datos suministrados por la empresa ETERNA S.A, solo en la etapa de clorinación del proceso de producción de guantes, se gastan alrededor de 24 m³/día.

En el volumen de control que se muestra en la **Figura 11**, se muestran todas las operaciones en la que se presenta un consumo de agua para el proceso de producción como lo son; limpieza de formadores, inmersión en coagulantes, lixiviación y clorinación. Toda la información contenida en la **Tabla 5**, fue suministrada por la empresa.

Tabla 5. Consumo hídrico por operación en el proceso de producción de guantes de látex en la empresa ETERNA S.A.

Operación	Consumo hídrico (m³/día)
<i>Limpieza de formadores</i>	11
<i>Inmersión en coagulantes</i>	8
<i>Lixiviación</i>	10
<i>Clorinación</i>	24
Total consumo (m³/día)	53

Fuente: elaboración propia, con base en ETERNA S.A.

El caudal total en el área de producción de guantes látex, teniendo en cuenta las operaciones que consumen agua durante el mismo, está contenido en la **Ecuación 2**.

Ecuación

2. Caudal industrial total.

$$Q_p = \sum Q_o$$

Donde:

Q_P: Caudal industrial total.

Q_O: Caudal total por operación.

$$Q_p = 53 \frac{m^3}{día}$$

2.2.1.3 Balance hídrico total. Con el fin de obtener un resultado claro del balance hídrico, es necesario tener en cuenta que de acuerdo a la ley de la conservación de la materia como se expresa en la **Ecuación 3**, se realiza el balance hídrico correspondiente a la empresa ETERNA S.A.

Ecuación 3. Balance de materia del agua consumida en ETERNA S.A

$$\sum Agua\ entrada = \sum Agua\ salida$$

Considerando que los gastos corresponden a los consumos de agua doméstico e industrial calculados anteriormente, al hallar el caudal total, se tendrá una consistencia entre entradas y salidas de agua. Como se mencionó con anterioridad para el balance hídrico se tomará como cantidad de entrada 80 m³/día.

Ecuación 4. Calculo del caudal total de agua en ETERNA S.A

$$\sum \text{Agua salida} = Q_D + Q_P + Q_{o.g}$$

Donde:

Q_D : Caudal residual total de agua doméstica.

Q_P : Caudal industrial total.

$Q_{o.g}$: Caudal otros gastos no especificados.

$$80 \frac{m^3}{día} = \left[8,736 \frac{m^3}{día} + 53 \frac{m^3}{día} \right] + Q_{o.g}$$

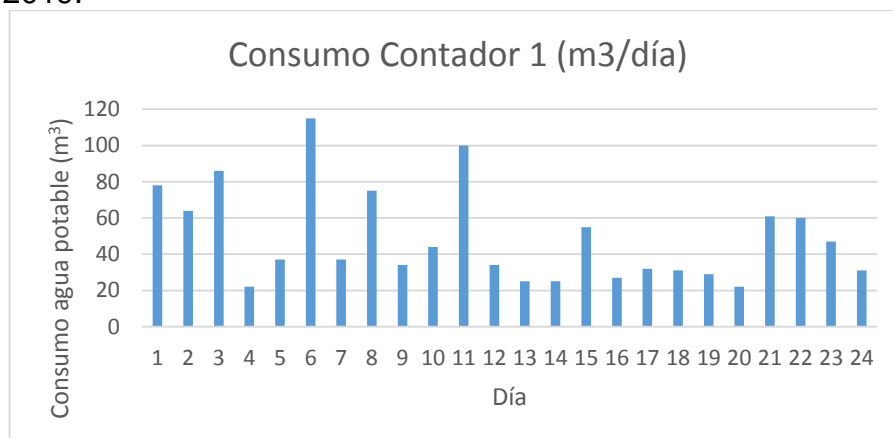
$$80 \frac{m^3}{día} = 61,736 \frac{m^3}{día} + Q_{o.g}$$

$$Q_{o.g} = \left[80 \frac{m^3}{día} - 61,736 \frac{m^3}{día} \right] = 18,264 \frac{m^3}{día}$$

Como se menciona $Q_{o.g}$, corresponde a otros gastos no especificados como actividades de aseo general, también se puede considerar dentro de este eventos inesperados como daños de un tubo, o el lavado de moldes por programación extraordinaria de una referencia diferente.

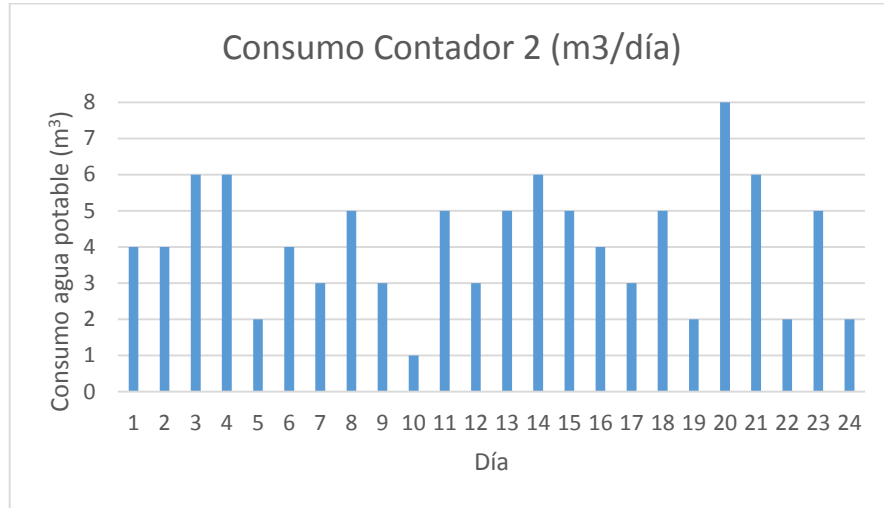
En las **Gráficas 1 y 2**, se puede observar de manera más detallada los registrados diarios proporcionados por los contadores que suministran el agua, esto a través de la empresa de Acueducto de Bogotá.

Gráfica 1. Consumo hídrico contador 1 Agosto-Septiembre 2019.



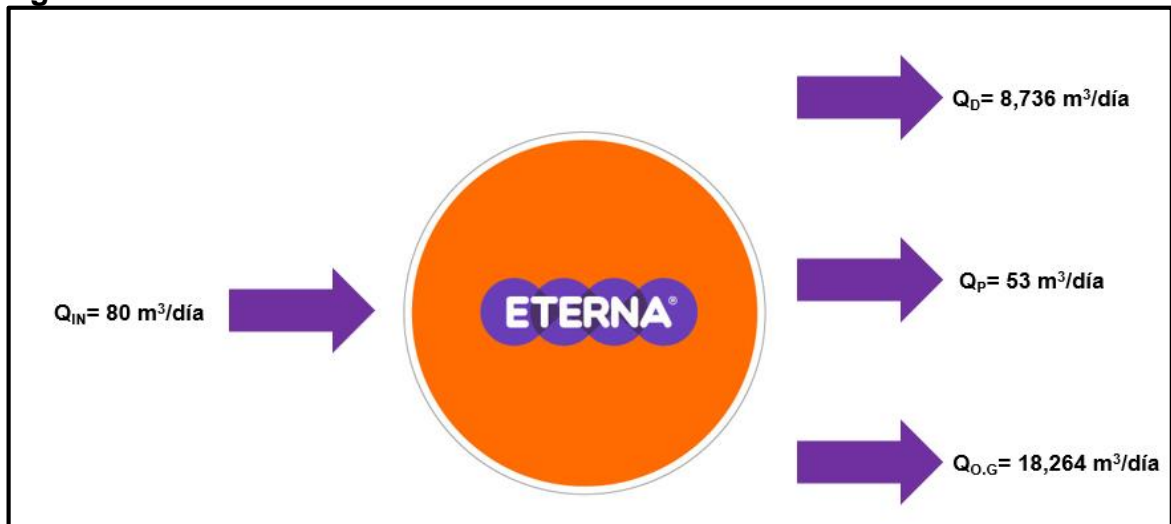
Fuente: elaboración propia, con base en ETERNA S.A.

Grafica 2. Consumo hídrico contador 2 Agosto-Septiembre 2019.



Fuente: elaboración propia, con base en ETERNA S.A.

Figura 12. Balance hídrico ETERNA S.A.



Fuente: elaboración propia, con base en ETERNA S.A.

2.3 DISPOSICIÓN ACTUAL DEL VERTIMIENTO

Actualmente Eterna S.A cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en donde se encargan de tratar todos los vertimientos generados por la planta incluyendo la línea de producción de látex y de líquidos de jabones. A continuación, se describe los procesos que se llevan a cabo en la PTAR para el trato de los vertimientos.

En primer lugar, hay que mencionar que en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se procesan en mayor parte los efluentes de las fases de limpieza, lixiviación y clorinación. Estos efluentes son llevados a la PTAR por medio de tuberías subterráneas e impulsados por una serie de bombas a unos tanques sedimentables en donde se agrega el coagulante y una serie de químicos entre ellos hidróxido de sodio, que ayuda a estabilizar el pH ya que llega muy ácido, variando entre los rangos 2 y 4,8; los tanques cuentan con un burbujeo, en donde lo que se quiere lograr es quitar por medio de un pre-tratamiento los sólidos suspendidos en el vertimiento por diferencia de pesos específicos, luego de una hora aproximadamente, los tanques son descargados por tuberías auxiliares en donde por un costado saldrán los lodos y por el otro el efluente restante.

La segunda parte es un tratamiento primario en donde ocurre sedimentación física de los lodos que provienen de los tanques anteriormente mencionados, esto con el fin de extraer el vertimiento que no se logró sedimentar en el pre-tratamiento este proceso dura alrededor de 24 horas, luego de esto el efluente que se encuentra en suspensión es descargado por tubería auxiliar, y los lodos son llevados a otro tanque.

La tercera parte consiste en un tratamiento secundario que es el de lodos activos, en donde estos son llevados a un lecho de secado formado por geotextil, arena, zeolita, con el fin de deshidratar por completo estos lodos, este lecho de secado cuenta con agitación constante, el proceso dura alrededor de una a dos semanas, para luego ser llevado por un gestor externo ya que la PTAR no cuenta con el proceso adecuado para su disposición.

Para la cuarta y última fase, hay un tratamiento de tipo terciario en donde se encuentra un filtro compuesto de arena, zeolita y carbón activado, en donde pasará el vertimiento generado en la primera y segunda fase de la planta, con el fin de estabilizar a un pH próximo de 7 y 8,5, así mismo quitar espumas y finalmente desechar al alcantarillado el agua totalmente clarificada, para dar cumplimiento a los parámetros establecidos para el vertimiento de aguas residuales según la Resolución 0631 de 2015. **(Anexo A)**

El presente trabajo se hace con el fin de hacer una propuesta de tratamiento para el agua residual del proceso de clorinación diferente al ya existente en la PTAR para su posible reutilización.

2.4 PARÁMETROS CRÍTICOS DEL AGUA RESIDUAL

El agua utilizada para el proceso de clorinación es agua tipo potable suministrada como ya se mencionó anteriormente por la Empresa de Acueducto de Bogotá, la cual presenta las características mostrada en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Caracterización agua suministrada al proceso de clorinación.

Parámetros evaluados	Resultados
Calcio	10,00 mg/L Ca
Cloruros	13,00 mg/L Cl
Conductividad	63,8 μ s/cm
Dureza Total	29,00 mg/L CaCO ₃
Turbiedad	0,90 NTU
pH	6,97

Fuente: elaboración propia, con base en ETERNA S.A

***NOTA: Ver ANEXO B.**

Teniendo en cuenta la caracterización obtenida del efluente que se suministra en el proceso de clorinación estos datos reportados se toman como base con el objetivo de observar cuáles son los parámetros afectados posteriores al proceso de clorinación.

2.4.1 Parámetros de calidad del agua que influyen en el proceso de clorinación. El proceso de clorinación (también conocido como halogenación) de los guantes de látex natural se realiza con el objetivo principal de reducir la adhesividad, así mismo se reduce la fricción entre la película de látex y otras superficies.

Según Karunaratne, el proceso de clorinación se lleva a cabo mediante la preparación de una solución agua-gas cloro la cual tiene lugar en unidades de mezclado (clorinadoras); esta solución forma cloro molecular, ácido hipocloroso, anión hipoclorito, iones de hidrogeno y aniones de cloruro, todo esto en una reacción de tipo reversible¹⁶, que se puede detallar en el numeral **2.1.2.1**.

En cuanto a las características del agua que afectan directamente este proceso son las siguientes;

- Dureza total: Teniendo en cuenta que este parámetro evalúa la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, en el proceso de clorinación cuando se presenta una alta cantidades de estos iones en el agua, se debe hacer uso de un agente quelante como el EDTA (ácido etilendiaminotertaacético). El prelavado de los guantes se hace con el fin de evitar un aumento de la humectación de estos. Esto solo es necesario cuando las condiciones de calidad del agua no se encuentran dentro de los rangos permisibles y adecuados para el proceso.

¹⁶ KARUNARATNE, Gamini. A Study to Reduce the Level of Chlorination of Examination Gloves While Keeping the Glove Moisture Content (Wet Glove) Low. Sri Lanka, 2007. Tesis Doctoral (Magister en ciencias en polímeros y tecnologías). University of Sri Jayewardenepura, Nugegoda. Facultad de ciencias aplicadas.

- **Conductividad:** Este parámetro en específico, además, de estar relacionado con los sólidos disueltos totales del agua residual, indica también la cantidad de iones presentes en una solución. Se considera de relevancia para el proceso de clorinación debido a su relación directa con otro parámetro importante que son los cloruros (Cl⁻), y se deben controlar en el proceso ya que al no cumplirse con los parámetros del agua de entrada (**Tabla 6**), se puede ver afectada la eliminación de la pegajosidad del guante.
- **Cloruros:** La presencia de estos iones en el agua que se busca reutilizar debe ser considerablemente bajo o nulo, en específico por razones técnicas con respecto a equipos en donde se llevan a cabo procesos previos y en la clorinación. Una alta presencia de estos en el agua puede reflejarse en daño de estructuras metálicas debido a la corrosión que estas pueden presentar, y finalmente, al considerar tratamientos terciarios para la reducción de otros parámetros tales como la dureza y la conductividad, en membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa, el contenido de cloruros debe ser nulo para evitar la saturación o el daño de las mismas.
- **pH:** Este parámetro se considera importante, debido que se debe mantener entre un rango de 7-8.5, para evitar neutralizaciones dentro del proceso de clorinación, que pueden repercutir en la efectividad del mismo.
- **DBO y DQO:** Debido a las cargas positivas presentes en la materia orgánica, que en su mayoría es la medida que indica este parámetro, dentro del proceso de clorinación tiene relevancia debido a que la presencia significativa de estas cargas, va a afectar en el momento que se lleve a cabo la reacción entre el gas cloro y agua. La interferencia de las mismas al generar el rompimiento de proteínas, va a hacer que este proceso no se dé de manera adecuada, por lo cual se corre el riesgo que al reutilizar el agua cuando este parámetro no se ha tratado correctamente, el guante no tenga las mismas características de calidad evaluadas por la empresa.
- **Turbiedad:** Es un parámetro que tiene relación con los sólidos disueltos y suspendidos presentes en el agua, más que considerarse un parámetro que afecte de manera considerable el proceso de clorinación. Tiene relación con la normatividad a utilizar, que, además, permite conocer la efectividad de tratamientos como coagulación, floculación y filtración, a través de los porcentajes de remoción.

2.5 CARACTERIZACIÓN

Posterior a la revisión bibliográfica y determinación de los parámetros que influyen en el agua que entra al proceso de clorado, se quiere implementar una serie de procedimientos y análisis fisicoquímicos con la finalidad de determinar las

condiciones en las que se encuentra el vertimiento proveniente del tanque de clorinado y así evaluar los parámetros que necesiten ser tratados para que no afecte al proceso de clorinado. Para la determinación de parámetros como DBO, cloruros y dureza se contó con la ayuda de un laboratorio privado.

2.5.1 Descripción del muestreo. Para realizar la caracterización correspondiente del efluente a tratar, se tiene en cuenta que en la planta se trabajan alrededor de doce referencias diferentes de guantes de látex; con base en esto, se escogen seis referencias a las cuales se les harán los análisis fisicoquímicos correspondientes. La elección de estas referencias con base en la cantidad y frecuencia con la que se producen en planta.

Se llevó a cabo un muestreo simple en donde se tomó el efluente durante el proceso de clorinado una sola vez por cada referencia a caracterizar y puntual ya que el efluente no ha recibido ningún tratamiento fisicoquímico.

La muestra recolectada se almacenó en recipientes de vidrio ámbar con una capacidad de 1000 mL, y fue trasladada a las instalaciones de Tecnoparque en nevera para preservar las condiciones de la muestra.

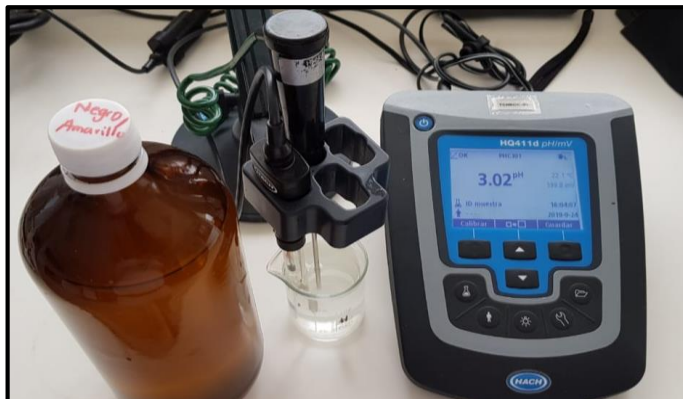
Se hicieron los análisis de cada muestra no posterior a 24 horas después de la recolección, esto con el fin de que los resultados de cada parámetro sean lo más cercano posible a las condiciones reales en las que se tratará el efluente.

2.6.2 Caracterización y resultados del agua residual. Para los diferentes parámetros a evaluar se tuvieron en cuenta las condiciones, cantidad y método a tratar en las muestras.

- Determinación del pH: se hizo basado en el método electrométrico en donde la muestra estuvo a una temperatura de 25°C, el principio del método consiste en la determinación de iones de hidrogeno por medio de un electrodo combinado o un electrodo estándar de hidrógeno de vidrio con un electrodo de referencia.¹⁷ Se hicieron alrededor de dos sesiones con tres repeticiones cada una, utilizando solución buffer de cuatro y siete para calibrar el equipo, la obtención del valor de pH resultó de un promedio entre los valores obtenidos.

¹⁷ CHIRUCHI, Juan, et al. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Montevideo: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 1996.174p.

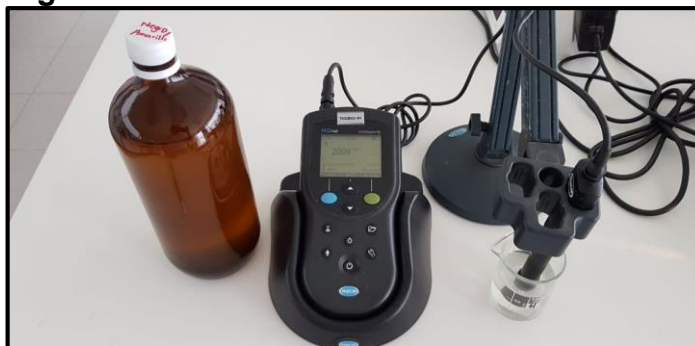
Figura 13. Determinación de pH método electrométrico.



Fuente: elaboración propia.

- Conductividad: Consiste en una medición directa en donde se utilizó un conductímetro portátil HQ14d y una celda de conductividad previamente estandarizada con una solución de KCl, la medida se tomó a una temperatura de 25°C.

Figura 14. Determinación de conductividad.



Fuente: elaboración propia.

- Determinación de turbidez: La medición de la turbidez se hizo por el método nefelométrico¹⁸ en donde se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.

¹⁸ CHIRUCHI, op. cit. p.76

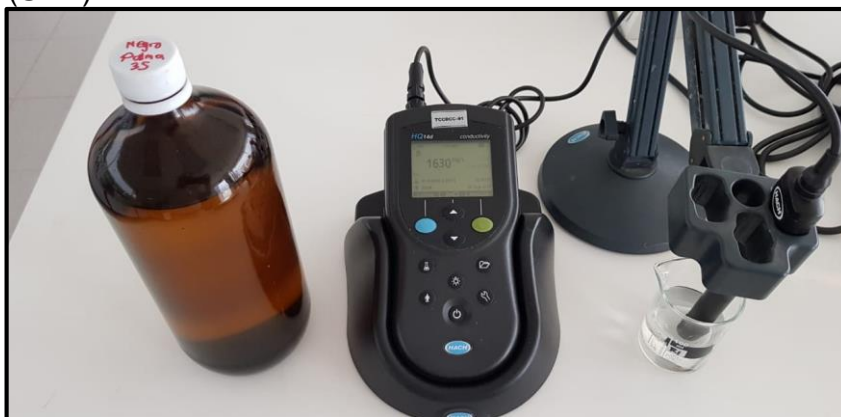
Figura 15. Determinación de turbidez.



Fuente: elaboración propia.

- Sólidos disueltos totales (SDT): se hizo por medio de medición directa, en donde se utilizó un medidor de TDS portátil HQ14d con sensor de temperatura, la toma de datos se hizo con la muestra a una temperatura de 25°C.

Figura 16. Determinación de sólidos disueltos totales (SDT).

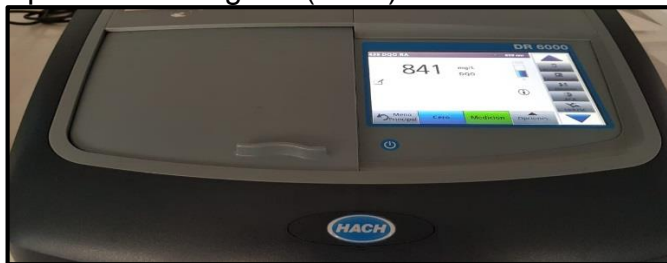


Fuente: elaboración propia.

- Demanda química de oxígeno (DQO): La medición de este parámetro se realizó por medio del método espectrofotométrico¹⁹ de flujo cerrado el cual consiste en que la muestra se oxida con una cantidad conocida de dicromato de potasio en exceso, en medio ácido y con catalizadores. El dicromato de potasio remanente es determinado por un espectrofotómetro HACH LPV44.

¹⁹ CHIRUCHI, op. cit. p.76

Figura 17. Determinación demanda química de oxígeno (DQO)



Fuente: elaboración propia.

- Determinación de dureza total: Está definida como la suma de concentración de iones calcio y magnesio, expresados como carbonato de calcio, en mg/L. Para la determinación de este parámetro se hizo por medio del método titulométrico²⁰ con EDTA en donde los iones calcio y magnesio forman complejos estables con etilendiaminotetra-acetato disódico. El punto final de la titulación es detectado por el indicador Negro de Eriocromo-T, el cual posee rosado en la presencia de calcio y magnesio y un color azul cuando los cationes están formando complejo con EDTA.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Se hizo por el método de incubación en cinco días que consiste en que la muestra, o una dilución adecuada de la misma, es incubada por 5 días a 20°C en la oscuridad. Se mide la concentración de oxígeno disuelto antes y después de la incubación, y el consumo de oxígeno corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno²¹.
- Cloruros: En la determinación de cloruros se hizo por medio del método argentométrico en donde se utiliza una solución neutra o ligeramente alcalina, por titulación con nitrato de plata estándar, usando cromato de potasio como indicador del punto final. El cloruro de plata es cuantitativamente precipitado antes de que sea formado el cromato de plata de color rojo²².

A continuación, en la **Tabla 7**, se muestra un resumen detallado de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos, explicados anteriormente.

²⁰ CHIRUCHI, op. cit. p.90

²¹ CHIRUCHI, op. cit. p.92

²² CHIRUCHI, op. cit. p.56

Tabla 7. Caracterización de parámetros críticos del agua residual del proceso de clorinación para la empresa ETERNA S.A.

Parámetros críticos	Agua inicial de clorinación	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6
pH	6,97	2,5	2,39	2,38	2,45	3,02	2.3
Conductividad (µs/cm)	63,8	1820	3320	2560	2990	3620	2440
Cloruro (mg Cl/L)	13	625	982	790	291	379	544
DBO ₅ (mg/L)	--	239,8	793	201,5	226,8	546,5	232
DQO (mg/L)	--	369	1220	310	349	841	357
Turbiedad (NTU)	0,9	8,36	330	71,2	6,11	76,4	36,4
SDT (mg/L)	--	1342	1873	1492	1630	2004	1469
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	29	52	770	493,6	522,3	620	320

Fuente: elaboración propia.

Ref. 1: Guante baño clásico mezcla negro-verde.

Ref. 2: Guantes tres capas mandarina.

Ref. 3: Guante clásico amarilla.

Ref. 4: Guante negro C-35.

Ref. 5: Guante negro-amarillo.

Ref. 6: Mezcla.

2.5.3. Análisis de los parámetros críticos. A partir de los valores obtenidos de cada uno de los parámetros que se evaluaron en las diferentes referencias se llegó a escoger la referencia que se muestra más crítica esto con base en las cantidades elevadas resultantes de los parámetros evaluados en las caracterizaciones. Como se puede ver en la **Tabla 7**, la referencia de guante tipo tres capas mandarina es la que presenta los parámetros más elevados en comparación con las otras referencias; es por esta razón que se decide tratar este tipo de efluente de aquí en adelante ya que es el que tiene un estado bastante más crítico que el resto de las referencias.

De acuerdo con los resultados de los análisis y la selección al efluente a tratar podemos realizar una comparación respecto a resolución 1207 de 2014 que es para la reutilización industrial de aguas residuales tratadas. **(Anexo C)**

Tabla 8. Comparación de resultados de caracterización con normatividad.

Parámetros críticos	Efluente residual del proceso de clorinación	Resolución 1207 de 2014 Reutilización para industria	Nivel de cumplimiento del parámetro
pH	2,3	6-9	No cumple
Conductividad	2440 $\mu\text{s/cm}$	ND	ND
Cloruros	544 mg/L Cl	300 mg/L Cl	No cumple
DBO	232,05 mg/L	ND	ND
DQO	357mg/L	ND	ND
Turbiedad	36,4 NTU	ND	ND
SST	1469 mg/L	ND	ND
Dureza Total	320 mg/L CaCO_3	ND	ND

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la **Tabla 8** es claro mencionar que respecto a la resolución 1207 de 2014 (**Anexo C**) los parámetros, como el pH y los cloruros en la referencia escogida, no cumplen con los límites permisibles.

El efluente residual proveniente del tanque de clorado, por consistir en una inyección de gas-cloro con agua, al ser levemente soluble en agua este gas reacciona formando ácido clorhídrico y ácido hipocloroso el cual es una solución débil²³, por tanto permite la formación de iones cloro es por esto que la cantidad de cloruros excede el límite máximo de 300 mg/L Cl.

Respecto al pH se debe tener en cuenta que el agua que ingresa tiene un pH de 6,97 y el agua residual tiene un pH de 2,39 esto es debido a las altas concentraciones de gas que se inyectaron en el tanque de clorado, ya que esto genera altas cantidades de ácido hipocloroso y a elevadas concentraciones de este el pH irá disminuyendo²⁴, sin embargo, es preciso decir que el gas cloro se evapora con gran facilidad al contacto, con agua esto sucede ya que es poco soluble y generan como consecuencia menos ácido el efluente.

En cuanto a parámetros como DQO y DBO se muestran elevados debido a que las reacciones que ocurren en la fase de clorado son de naturaleza oxidación-reducción y estas tienen la característica de reducir la materia orgánica entre otros factores.

Debido a que la conductividad es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es por tanto una medida indirecta de la cantidad de iones en solución,

²³ CASSON, Leonard; BESS, Jim. Conversion to on-site sodium hypochlorite generation: water and wastewater applications. New York, CRC Press, 2002. p. 100

²⁴ LENNTECH B.V. Cloro como desinfectante {en línea} {20 de Julio de 2019} disponible en: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm>

como cloruros, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio²⁵, es decir, que la conductividad tiene relación directa con la formación de iones cloruros y así mismo, con los sólidos disueltos totales, es debido a esto que los valores de los tres parámetros son elevados.

²⁵GOYENOLA, Guillermo. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras-Conductividad. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. {en línea} {15 de Julio de 2019} disponible en:
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN LA FASE DE CLORINACIÓN DE ETERNA S.A.

Para la reducción de ciertos parámetros elevados en los efluentes residuales y la mejora de un sistema de tratamientos de agua eran necesarios los análisis hechos anteriormente. En el actual capítulo se determinará y se evaluará experimental y bibliográficamente la alternativa óptima para llevar a cabo la posible reutilización del efluente residual procedente de la fase de clorinado.

3.1 PARÁMETROS A EVALUAR

A partir de los resultados obtenidos en las caracterizaciones detallados en el numeral 2,5 es claro que todos los parámetros evaluados están elevados; sin embargo, y después del análisis, se tratarán los parámetros críticos que afecten directamente el proceso de clorinado como cloruros, pH, DQO, DBO, conductividad y dureza total se seleccionaron estos parámetros por las razones expuestas previamente en el capítulo anterior.

3.1.1 pH. En este parámetro lo que buscamos es modificarlo de tal manera que llegue a un valor neutro, por tanto, es común utilizar una neutralización directa. Normalmente este tipo de tratamiento se da, previo a la exposición del efluente a tratamientos biológicos; sin embargo, y de acuerdo al pH que se obtuvo en la caracterización, es necesario hacer una neutralización en primera estancia ya que un pH demasiado ácido afecta considerablemente los tratamientos posteriores a los que se someterá el efluente.

De acuerdo con el valor obtenido de pH se llevará a cabo la neutralización con un reactivo. Para la selección de este reactivo se tuvo en cuenta la cantidad a utilizar, la obtención y disponibilidad, el costo y el porcentaje de eficiencia; en el **ANEXO D**²⁶ se muestra un resumen de los reactivos que se utilizan regularmente para neutralización de pH.

Según los diferentes reactivos que se muestran en el **ANEXO D** es preciso mencionar que al disminuir la acidez de la muestra se utilizarán bases para llevar el proceso de neutralización, de acuerdo con lo anterior se descartaron bases como el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y óxido de calcio (CaO), si bien ambas son de bajo costo, tienen alta disponibilidad, facilidad en su uso y la eficiencia es alta a concentraciones bajas, no es conveniente seleccionarla debido a que estos reactivos al entrar en contacto con soluciones muy ácidas es posible la formación de productos insolubles que precipitan como sulfatos y flouorofosfatos de calcio, por

²⁶ URES, Pablo. JÁCOME, Alfredo. SUARÉZ, Joaquín. Neutralización de pH (FT-PRE-004) {en línea} {15 de Julio de 2019} disponible en: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Neutralizaci%C3%B3n.pdf/e7996c1d-1265-54c0-07d8-c0a79ce2cd91>

tanto obliga a que se haga una decantación posterior²⁷ elevando a su vez los costos de inversión y operación. En el caso del carbonato de calcio (CaCO_3) la cinética de reacción de este reactivo como neutralizante es lenta, además de ser insoluble en agua y producir grandes cantidades de lodos. Como neutralizante el hidróxido de sodio es el ideal para este tipo de efluente ya que presenta una velocidad de reacción elevada, es fácil de obtener y manejar; el costo es un poco más elevado que los reactivos mencionados anteriormente; sin embargo, este factor es compensado con la afinidad que tiene este para neutralizar aguas residuales ácidas.²⁸

3.1.2 DQO (Demanda química de oxígeno) y DBO (Demanda bioquímica de oxígeno). Para disminuir estos parámetros se proponen a continuación los tratamientos que son más eficientes respecto al porcentaje de remoción de estos niveles en exceso, de igual forma teniendo en cuenta el tipo de proceso e industria que se estudia.

- **Coagulación y Floculación:** Consiste en agregar simultáneamente el coagulante y floculante escogido según las especificaciones requeridas, desarrollado por medio de una agitación mecánica o hidráulica en donde se obtiene unos floc el cual retendrá las impurezas del agua residual.
- **Oxidación química:** Este proceso se utiliza ciertos agentes de tal manera que estos oxiden la materia orgánica, comúnmente se utilizan peróxido de hidrógeno (O_2H_2), oxígeno (O_2) y ozono (O_3) ya que son ya que son los reactivos que permiten con mayor facilidad el intercambio iónico que ocurre en este proceso.

3.1.3 Cloruros.

- **Método mecánico:** Para la reducción de este parámetro, se propone a continuación un tratamiento que según Buitrago July es efectivo para la reducción de cloruros en aguas residuales con porcentajes de remoción de hasta el 65%, en un método mecánico, que mediante una fuerza impulsora permite la reducción del mismo²⁹. A escala laboratorio, es común utilizar una centrifuga, que permite la separación de la muestra mediante la sedimentación de componentes como los cloruros, esta precipitación de lodos se somete a un

²⁷ AGUILAR, Ervin Noé. Diseño e implementación de un sistema de recirculación de agua para reusarla en el área de desmoldeo y tanques de lixiviación (leaching), como parte del proceso de fabricación de guantes de látex. Guatemala, 2015, 135p. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

²⁸BERNAL MÁRQUEZ, F. J., et al. Técnicas de Prevención de la Generación de Suelos Contaminados: La Gestión de Residuos Peligrosos. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 2000. p. 403-422

²⁹ BARBOSA, Buitrago; MARLEY, July. Extracción de cloruros de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales a través de procesos mecánicos. En: Revista Palmas. Vol. 38. No 4. (oct-dic 2017) p.108-113

posterior calentamiento a una temperatura aproximada de 95°C, para determinar la efectividad de este método de tratamiento es necesario realizar una caracterización inicial y final. La caracterización final requiere de una filtración para remover el precipitado resultante de la centrifugación.

3.1.4 Conductividad. Para el tratamiento de este parámetro en el agua se deben considerar dos posibilidades; la reducción o la eliminación total de esta. Para lo cual es posible considerar proceso de ultrafiltración u ósmosis inversa.

- Ultrafiltración (UF): Se utiliza para eliminar principalmente sólidos en suspensión o sedimentables, se busca retener partículas de 0.001-0.1µm presentes en aguas residuales. Para forzar los fluidos a través de las membranas se utilizan bajas presiones. Es un tratamiento previo eficaz para alargar la vida útil de las membranas de osmosis inversa.
- Osmosis inversa: Es un proceso fundamentado en el equilibrio, esto quiere decir que cuando se ponen en contacto dos fluidos con concentraciones diferentes de sólidos disueltos, se espera que se mezclen hasta que se tenga una concentración uniforme. Cuando se separan por una membrana y se aplica presión superior a la osmótica, los fluidos se presionan de nuevo a la membrana y los sólidos disueltos permanecerán en la columna o membrana.

3.1.5 Dureza total.

- Intercambio iónico: Uno de los procesos de tratamientos más efectivos para la reducción de la dureza total presente en aguas residuales, es el intercambio iónico, el cual consiste en el ablandamiento del agua. Es un proceso químico en el que iones disueltos (Ca^{+2} , Mg^{+2}) son intercambiados por otros iones que puedan tener una carga similar.

El intercambio se lleva a cabo entre un sólido que puede ser una resina o zeolita y un líquido que este caso en particular es el agua residual, los componentes que no son deseados en este se cambian por otros más deseables, que son cargados en las resinas.

3.2 PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS

Posterior al análisis de los parámetros críticos y la respectiva revisión bibliográfica se quiere determinar los posibles tratamientos y operaciones unitarias que se puedan aplicar para la reducción de los parámetros seleccionados. Se tomarán en cuenta factores como el tipo de industria y el porcentaje o capacidad máxima de remoción respecto a los parámetros críticos.

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para seleccionar la alternativa correcta y que sea la más viable, no solo hay que tener en cuenta, la normatividad vigente y los requerimientos de la empresa, sino que también ciertos criterios de evaluación respecto a los diferentes tratamientos disponibles, con el fin de establecer la alternativa óptima y que se ajuste a las necesidades planteadas.

Los criterios que se establecerán para definir el tipo de tratamiento están directamente relacionados con:

- La industria en la cual se está trabajando.
- El proceso, o fase, de la que resulta el agua residual.
- Características físico-químicas del agua.
- Calidad a la que se quiere llegar.
- Costos, presupuesto e inversión de la posible alternativa.
- Efectividad y porcentaje de remoción de los diferentes contaminantes del efluente.

De acuerdo con las necesidades expuestas anteriormente se quieren evaluar los diferentes tratamientos con ciertos criterios de tal manera que proporcione la mejor alternativa en conjunto para satisfacer los niveles de calidad requeridos en el tanque de clorinado.

Los criterios se evaluarán en tres diferentes áreas; la técnica, la económica y la operativa.

- La técnica: Se estimarán factores relevantes en cuanto a eficiencia y porcentaje de remoción, tiempo de remoción, cantidad a tratar y vida útil.

Tabla 9. Factores técnicos.

Factor	Descripción
Porcentaje de remoción	Se refiere a la cantidad de remoción de contaminante extraído referido en un valor numérico, este factor se hallará por medio de la eficiencia evaluando los factores críticos después del tratamiento como lo son: DBO, DQO, TDS, dureza total, turbidez y pH; en donde se selecciona la alternativa con mejores resultados.
Tiempo de remoción	Este factor se evalúa experimentalmente y se refiere al tiempo que tarda la alternativa en cumplir los parámetros de calidad designados, se tendrá en cuenta este factor y la remoción en simultáneo, ya que es conveniente un balance entre ambos.
Cantidad a tratar	Lo que se quiere buscar con evaluar este factor es si el tratamiento es eficiente en términos de cuanto caudal se puede tratar en el sin disminuir el porcentaje de eficiencia.
Vida Útil	Se estimará un aproximado en el que la alternativa puede funcionar correctamente sin afectar rendimiento y la calidad del producto.

Fuente: elaboración propia.

- La económica: Se evaluarán los costos asociados a la inversión respecto a implementación, operacionales y de mantenimiento.

Tabla 10. Factores económicos.

Factor	Descripción
Costos de implementación	Son aquellos que se generan al implementar la alternativa, incluyendo infraestructura, materiales, ensamble y mano de obra.
Costos operacionales	Avala aquellos que se invierten en materias primas, insumos, consumo de servicios ya sean energéticos, hídricos entre otros y mano de obra.
Costos de mantenimiento	Son requeridos después de cierto tiempo para asegurar el buen funcionamiento de todo el sistema, generalmente la frecuencia de estos son de acuerdo a la carga contaminante que retiene, estos tipos de costos son anuales normalmente y son destinados completamente para evitar desgastes extremos en maquinaria, equipos entre otros.

Fuente: elaboración propia.

- La operativa: Abarca factores como la mano de obra necesaria para el funcionamiento de la alternativa y la facilidad operacional.

Tabla 11. Factores operativos

Factor	Descripción
Facilidad operacional	Hace referencia a la capacidad del personal en el fácil y adecuado uso del tratamiento seleccionado, es directamente relacionado con las capacitaciones del personal.
Mano de obra	Este parámetro está directamente relacionado con las capacitaciones del personal ya que lo que se quiere evaluar con este factor es la mano de obra mínima necesaria para que la alternativa funcione correctamente y en sus intervalos más óptimos.

Fuente: elaboración propia.

3.4 MATRIZ DE SELECCIÓN

Posterior a las alternativas propuestas y los criterios establecidos se realizaron dos tipos de matrices de selección (método de Kepner y Tregoe y matriz de Pugh), en donde se evaluaron cada uno de los factores expuestos por cada tratamiento mediante una ponderación numérica, para poder totalizarlo y por tanto elegir la de mejores resultados.

Para los dos tipos de matrices se tuvieron en cuenta los mismos criterios y factores de selección.

3.4.1 Cuantificación matriz de selección método de Kepner y Tregoe. De acuerdo a los criterios establecidos se quiere asignar porcentajes de importancia, teniendo en cuenta las necesidades de la empresa como se muestra de la siguiente manera:

Tabla 12. Porcentajes de los criterios de evaluación.

Criterio	% de importancia
Técnico	50%
Económico	30%
Operativo	20%

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, para la ponderación numérica se establecieron niveles de calificación para los diferentes factores que se evaluarán de cada criterio en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Valores para los niveles de evaluación.

Nivel	Valor
Deficiente	1
Aceptable	2
Bueno	3
Muy bueno	4
Excelente	5

Fuente: elaboración propia.

Para hacer la debida cuantificación de los resultados obtenidos en cada una de las matrices se utilizó una adaptación del método de Kepner y Tregoe (1981)³⁰, de la siguiente manera:

Ecuación 5.
Cuantificación de los resultados de la matriz de selección

$$\sum = (X * \sum X_i)$$

En donde:

- X : El porcentaje de importancia de los criterios de selección.
- X_i : Valor de cada uno de los factores evaluados por alternativa.

3.4.2 Cuantificación matriz de selección Pugh. Teniendo en cuenta que es una herramienta útil para evaluar diversos tratamientos por medio de una comparación entre las mismas, se debe escoger una alternativa base, la cual tendrá la misma ponderación en todos los conceptos a evaluar. En función de esta alternativa base se calificará las otras alternativas de la siguiente manera:

Tabla 14. Valores para los conceptos de evaluación matriz Pugh.

Valoración	Descripción
1	Si es mejor que el criterio base
0	Si es igual que el criterio base
-1	Si es peor que el criterio base

Fuente: elaboración propia.

Seguido de realizar la matriz se totalizo cada una de las alternativas, para así poder designar que alternativa tendrá mayor impacto en cuanto a los criterios evaluados.

³⁰ GUERRERO, Sánchez; DE LAS NIEVES, Gabriel. Técnicas participativas para la planeación. Fundación ICA AC, México, 2003. p. 343.

A continuación, se mostrarán las matrices evaluadas para cada uno de los tratamientos planteados anteriormente.

3.4.3 Matrices de selección para DQO y DBO. Factores como el DQO que es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en la muestra, es importante reducirlos cuando de tratar efluentes se habla ya que a mayor DQO se puede decir que el efluente es más contaminante y por tanto si mayor es la contaminación se elevará de igual forma el DBO, es por esto que reducirlos es uno de los principales objetivos para tener óptimo el efluente a reutilizar. Para ello existen diferentes alternativas de remoción de estos parámetros como se muestra a continuación.

Tabla 15. Matriz de selección método de Kepner y Tregoe para DQO y DBO

CRITERIO	PORCENTAJE DE IMPORTANCIA	FACTOR	ALTERNATIVAS		
			Coagulación y Floculación	Oxidación Química	
TÉCNICO	50%	Porcentaje de remoción	3	3	
		Tiempo de remoción	4	3	
		Cantidad a tratar	4	2	
		Vida útil	3	3	
		Σ	14	11	
ECONÓMICO	30%	Costos de implementación	4	4	
		Costos operacionales	3	3	
		Costos de mantenimiento	4	4	
		Σ	11	11	
Operativo	20%	Facilidad operacional	4	4	
		Mano de obra	4	4	
		Σ	8	8	
			$\Sigma = (X * \Sigma X_i)$	11,9	10,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Matriz de selección Pugh para DQO y DBO.

		ALTERNATIVAS				
		Coagulación y Floculación	Lodos activados	Oxidación química		
CONCEPTO	Factores técnicos	Porcentaje de remoción	=	1	0	
		Tiempo de remoción	=	1	0	
		Vida útil	=	-1	-1	
	Factores económicos	Costos operacionales	=	0	0	
		Costos de mantenimientos	=	-1	-1	
	Factores operativos	Facilidad operacional	=	-1	0	
		Mano de obra	=	-1	0	
	TOTAL			0	-2	-2

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las matrices de selección implementadas anteriormente, se evidencia que para la reducción de parámetros como DQO y DBO el mejor tratamiento a realizar es la coagulación y floculación, esto debido a que si bien las dos alternativas muestran un buen porcentaje de remoción, respecto al tiempo la oxidación química presenta una falencia notable esto se debe a que en tratamientos como la coagulación y floculación el proceso de remoción y disminución de parámetros es efectivo a tiempos más reducidos que en la oxidación química.

Respecto a los criterios económicos, es necesario evaluar la implementación de la alternativa, de igual forma los costos operacionales y de mantenimiento son primordiales y de acuerdo con la matriz es posible ver que tanto la coagulación y floculación como la oxidación química coinciden con unos factores económicos en general factibles. Al igual que con el criterio operativo ya que si bien para cualquier implementación de un sistema en una planta de producción se necesitara capacitar al personal, respecto a la alternativa seleccionada no requerirá de una capacitación y mano de obra extensa y complicada.

3.4.3.1 Selección de coagulante. Posterior a la selección de la alternativa para la reducción de parámetros como el DQO y DBO, se quiere escoger los coagulantes y floculantes necesarios para llevar a cabo en este proceso. A continuación, se expondrán los posibles reactivos adecuados para tratar aguas residuales con características similares a las del proceso de clorinación.

Seguida de una revisión bibliográfica se determinó utilizar tres coagulantes de diferente naturaleza, en donde el primero será un coagulante convencional a base de compuestos inorgánicos como el aluminio y hierro. Por último se evaluará un coagulante alternativo como los policloruros de aluminios (PAC's), esto con el fin de tener diferentes resultados al realizar la experimentación respecto a la variación del reactivo, ya que es preciso mencionar que los coagulantes convencionales tienen un rango de pH más específico en donde ocurre la máxima precipitación con la mínima solubilidad dependiendo directamente de las características del agua a tratar³¹, marcando así la diferencia respecto al comportamiento de los coagulantes alternativos, ya que estos cuentan con diferentes fases de reacción hidrolíticas lo que indica que los PAC's tienen una estabilidad superior mejorando así la eficiencia en el proceso de coagulación.

Se consideró utilizar reactivos coagulantes a base de biopolímeros ya que presentan grandes ventajas; son menos tóxicos, los lodos sedimentables producidos pueden tener otra finalidad como ser utilizados como abono y no son sensibles al pH, sin embargo, aspectos como la poca estabilidad de los flocs formados, su costo es más elevado que los coagulantes tradicionales, al no tener los métodos de síntesis totalmente desarrollados no se puede predecir en su totalidad si su funcionamiento o condiciones siempre serán las mismas, es decir, se necesitan elevadas dosis y que la mayoría de estos tipos de coagulantes no están a escala comercial³², hacen que este tipo de coagulantes no sean óptimos para el tipo de propuesta a desarrollar en este proyecto.

El primer reactivo a considerar es el sulfato de aluminio en donde se tuvo en cuenta criterios tales como el porcentaje de remoción, la facilidad de dosificación y el rango de pH óptimo de operación en la que trabaja este compuesto. Si bien según la ficha técnica mostrada en el **ANEXO E**, el sulfato de aluminio es uno de los coagulantes convencionales más comunes a utilizar para tratar de agua residuales, de las mayores ventajas que proporciona este coagulante es la cantidad mínima de dosificación requerida y el amplio rango de pH en el que se puede trabajar; sin embargo, el factor decisivo de porque se seleccionó este coagulante es la alta afinidad respecto al porcentaje de remoción en aguas cloradas.

Como segundo compuesto a considerar se evaluó el coagulante-floculante: Quimifloc 1.325 específicamente Hidroxicloruro de aluminio el cual es un tipo de coagulante alternativo PAC's, donde se tuvieron en cuenta los mismos criterios que se enumeraron en el primer compuesto, de acuerdo con la ficha técnica de este compuesto expuesto en el **ANEXO F**, se puede decir que el PAC cuenta con una

³¹ FLÓREZ, Juan Miguel Cogollo. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicluro de aluminio. En: Dyna, 2011, vol. 78, no 165, p. 18-27.

³² TORRES, José. Biopolímeros en el tratamiento de aguas residuales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de ingeniería química y bioprocesos. Chile. 2017. p. 16. [Consultado en 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/cheppe22/biopolimeros-en-aguas-residuales-jos-torres>

alta capacidad de desestabilización de cargas generando así partículas libres, lo que facilita posteriormente la aglomeración de estas en flocs más grandes, permitiendo así la facilidad de filtración de estos. Este coagulante tiene afinidad para aguas con rangos de pH flexibles; así mismo respecto a la dosificación es efectivo a muy bajas concentraciones debido a que maneja cierta afinidad con aguas de pH ácidos que es lo que se presenta en el efluente a tratar.

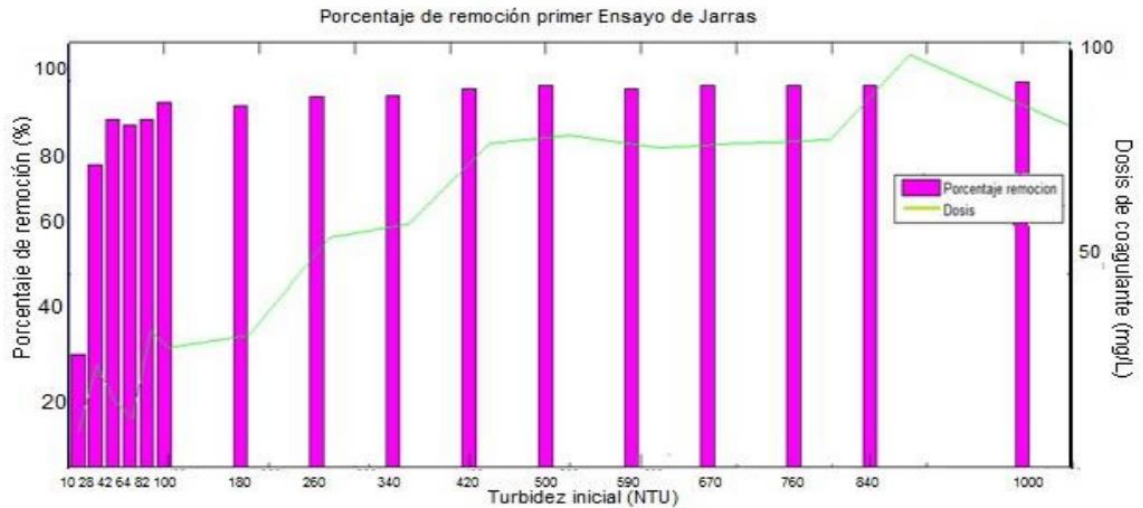
El tercer coagulante a tener en cuenta es el cloruro férrico el cual tiene ciertas ventajas relevantes para las características que muestra el efluente a tratar, una de estas es el amplio rango de pH en el que este reactivo es óptimo, lo que diferencia este coagulante de los otros seleccionados es que a menor rango de pH, mayor es la producción de partículas de alta carga, lo cual favorece el proceso de coagulación ya que esto disminuye la cantidad requerida de coagulante³³, siendo este un coagulante con productos de hidrólisis cargados positivamente tienen la facilidad de neutralizar las cargas negativas de la materia orgánica y la formación de complejos solubles, adicionalmente se ha comprobado que el cloruro férrico como coagulante utiliza menos dosificación que los coagulantes a base de aluminio por último se estudió el factor costo y es preciso tener en cuenta que el de este coagulante es más elevado que los anteriores mencionados sin embargo se compensa con la baja dosificación que este necesita para la formación del floc, **ANEXO G.**

3.4.3.2 Dosificación óptima. Un factor importante a tratar es la dosificación y concentración correcta que se utilizará de coagulante, para el sulfato de aluminio se trabajan intervalos aproximados de 50 a 500 mg/L según la ficha técnica mostrada en el **ANEXO E**, este intervalo es donde el coagulante genera mayores desestabilizaciones y deja partículas libres en aguas residuales. Si bien el intervalo se redujo, sigue siendo demasiado extenso para evaluarlo en su totalidad, es por esto que se busca un parámetro del agua a tratar en donde sea posible evaluar el comportamiento de este versus la concentración de coagulante añadido a la muestra que se quiere tratar. Siendo una de las variables dependientes más notables y así mismo una de las variables respuesta en este proceso, se seleccionó la turbidez como factor clave para evaluar la cantidad requerida de sulfato de aluminio para el proceso de coagulación.³⁴

³³ ZERBATTO, Mariel Guadalupe, et al. Cloruro Férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. En: Augmdomus, 2009, vol. 1, p. 18-26.

³⁴BARAJAS, Claudia; LEÓN, Andrea Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃ 18H₂O) en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Bogotá, 2015, p.102. Trabajo de grado (Ingeniería ambiental). Universidad Santo Tomás. Facultad de ingenierías.

Grafica 3. Concentraciones óptimas de sulfato de aluminio respecto a la disminución de turbidez.



Fuente: BARAJAS, Claudia; LEÓN, Andrea Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (Al₂ (SO₄)₃ 18H₂O) en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Bogotá, 2015, p.67. Trabajo de grado (Ingeniería ambiental). Universidad Santo Tomás. Facultad de ingenierías.

Siendo la dosificación óptima 50 mg/L se tomó esta dosificación con base en los resultados de turbidez obtenidos del efluente seleccionado a tratar (Ref 6). Es preciso mencionar que de acuerdo a la **Gráfica 3** la adición del coagulante es casi lineal respecto a la turbidez, es decir que a mayor turbidez mayor será la dosificación de coagulante si queremos obtener un porcentaje de eficiencia bueno, es por esto que no se buscará elevar considerablemente las concentraciones de dosificación, si no evaluar otra dosificación cercana al valor optimo, 50 mg/L, esto con el propósito de afinar y conseguir más exactitud en términos de cantidad a utilizar del coagulante.

En el caso del PAC, se designaron dos posibles dosificaciones óptimas para adicionar al efluente a tratar, teniendo en cuenta que el rango de concentraciones recomendadas es corto y esto depende directamente de la turbidez como parámetro de referencia. Por consiguiente y según revisión bibliográfica la dosificación correcta está entre 1-1.5 mg/L de Hidroxicloruro de aluminio³⁵.

³⁵ GALVÁN, José L.; CONTRERAS, Raúl E, et. al. Evaluación de cal, sulfato e hidroxicluro de aluminio en la coagulación-floculación del lixiviado del relleno sanitario de poza rica, Veracruz. En: Avances de ciencias e Ingeniería. Vol: 4 No. 3 (Jul-sept, 2013) p. 1-10

Tabla 17. Coagulantes seleccionados.

Coagulante	Descripción
Sulfato de aluminio [Al₂(SO₄)₃]	Es una sal, de color blanco que, por sus propiedades físico-químicas, es utilizada como un agente coagulante. Su característica principal es que agrupa los sólidos suspendidos en el agua y acelera su sedimentación.
Quimifloc 1325 (PAC)	Es una sal básica de cloruro de aluminio (Hidroxiclорuro de aluminio), que actúa como coagulante-floculante inorgánico para el tratamiento de aguas residuales con alta turbiedad.
Cloruro férrico FeCl₃	Es un coagulante de alta eficiencia, usado con frecuencia en aguas residuales con altos contenidos de orgánicos y metales pesados.

Fuente: elaboración propia.

3.4.3.3 Selección de floculantes. La adición de floculantes favorece la formación de flocs aumentando así su tamaño por las partículas libres que se encuentran en el agua después del proceso de coagulación. Se seleccionaron dos floculantes, afines al tipo de agua a tratar; se contó con la asesoría de LIPESA S.A. empresa dedica a la fabricación de diferentes insumos, reactivos y soluciones, a quienes se expusieron los parámetros críticos seleccionados a tratar de la muestra de agua y de acuerdo con la naturaleza del efluente se decidió utilizar floculantes del tipo catiónicos; sin embargo, se evaluó también un floculante del tipo aniónico el cual tiene un rango de pH mucho más extenso que el de un catiónico.

A continuación, se muestran los floculantes seleccionados que se utilizaron en la experimentación del proceso de coagulación-floculación. Las fichas técnicas de los floculantes seleccionados se muestran en el **ANEXO H, ANEXO I** y **ANEXO J**.

Tabla 18. Floculantes seleccionados.

Floculante	Descripción
L-550A	Es un polímero sólido de alto peso molecular y fuertemente catiónico de color blanco e inodoro que actúa en un amplio rango de pH de 1 a 13
L-1547 M	Es un polímero de muy alto peso molecular, aniónico de color blanco e inodoro que actúa en un amplio rango de pH.
L-1538	Es un polímero de muy alto peso molecular, aniónico, blanco e inodoro que actúa en un amplio rango de pH que va desde 1 a 13.

Fuente: elaboración propia, con base en LIPESA S.A.

3.4.4 Matrices de selección para cloruros, conductividad y durezas total

Tabla 19. Matriz de selección método de Kepner y Tregoe para cloruros, conductividad y dureza total.

CRITERIO	PORCENTAJE DE IMPORTANCIA	FACTOR	ALTERNATIVAS			
			Ósmosis inversa	Intercambio iónico	Ultrafiltración	Procesos mecánicos
TÉCNICO	50%	Porcentaje de remoción	4	4	3	2
		Tiempo de remoción	3	3	2	3
		Cantidad a tratar	5	2	2	4
		Vida útil	3	1	3	1
		Σ	15	10	10	10
ECONÓMICO	30%	Costos de implementación	2	2	3	4
		Costos operacionales	3	5	1	3
		Costos de mantenimiento	5	5	2	4
		Σ	10	12	6	11
OPERATIVO	20%	Facilidad operacional	4	4	3	2
		Mano de obra	2	3	3	3
		Σ	6	7	6	5
		$\Sigma = (x \cdot \sum x_i)$	11.7	10	8	9.3

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Matriz de selección Pugh para cloruros, conductividad y dureza total.

		ALTERNATIVAS				
		Intercambio iónico	Ósmosis inversa	Ultrafiltración	Procesos mecánicos	
CONCEPTO	Factores técnicos	Porcentaje de remoción	=	0	-1	1
		Tiempo de remoción	=	0	0	-1
		Vida útil	=	1	1	1
	Factores económicos	Costos de implementación	=	-1	0	-1
		Costos operacionales	=	1	-1	-1
		Costos de mantenimientos	=	1	1	0
	Factores operativos	Facilidad operacional	=	1	1	-1
		Mano de obra	=	0	0	0
	TOTAL			0	3	1

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente los parámetros de conductividad, cloruros y dureza total, son unos de los criterios más relevantes en el proceso de clorinación. Además, dos de estos están directamente relacionados: la conductividad y los cloruros. Por tanto, una de las alternativas más viables para el tratamiento.

Para la reducción de los parámetros críticos ya mencionados, se decide la implementación de dos alternativas que son igualmente viables y efectivas; membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa, como se muestra en la **Tabla 19 y 20**, esto con el fin de eliminar iones cloruro (Cl^-), dureza total (expresada en Ca^{+2} y Mg^{+2}) y por último la conductividad. Mediante la revisión bibliográfica se determinó que el tipo de membrana más afín con estos parámetros, son las membranas "Hollow Fiber" de tipo orgánico, las cuales tienen la capacidad de soportar grandes caudales de tratamiento y tienen gran estabilidad térmica lo que implica la reducción de costos de operación e instalación debido a que no es necesario equipo de calentamiento o enfriamiento, retienen partículas gruesas y tienen una tasa de rechazo alto de hasta el 50% para agua con bajo contenido de sólidos totales³⁶, tales como las que se esperan obtener de los tratamientos previos de coagulación y floculación mediante tanques de aireación. La razón principal por la que se decide la implementación de este método: principalmente su alta calificación obtenida en la matriz de selección y además, de que este tratamiento es considerado un proceso de refinación de tratamiento de aguas residuales para obtener efluentes con calidad óptima.

Figura 18. Membranas Hollow Fiber para ultrafiltración.



Fuente: MEMBRANE SOLUTIONS. "[Sitio Web]. MS Membranas de ultrafiltración. [Consultado en 6 de octubre 2019]. Disponible en: https://www.membrane-solutions.com/es/ultrafiltration_membrane.htm

Finalmente, la tercera alternativa de tratamiento altamente viable según su calificación en la matriz de selección, es la utilización de resinas de intercambio iónico, que por lo general son utilizadas para la eliminación de compuestos inorgánicos, atrapando determinados iones en las resinas. Para la implementación de esta alternativa es acertado considerar el empleo de zeolitas, de acuerdo con la

³⁶ CHEREMISINOFF, Paul N. Handbook of water and wastewater treatment technology. Routledge: Taylor & Francis, 1995. 40 p.

revisión bibliográfica, la más compatible para la reducción de iones inorgánicos presentes en aguas residuales y que están correlaciones con los parámetros críticos a tratar, es la zeolita faujasita tipo Na-X, la cual es sintetizada a partir de Al puro y silica gel por el método sol-gel, además, se demostró que con la utilización de esta zeolita, mejora la capacidad de la remoción hasta llegar a un porcentaje de remoción del 100%³⁷.

3.5 METODOLOGÍA

La metodología permite establecer el proceso para llevar a cabo en la fase de experimentación, donde se evaluará a escala laboratorio la alternativa seleccionada anteriormente, incluyendo la determinación de las variables importantes en cada una de las etapas siendo estas variables dependientes e independientes. De igual forma, se mostrará un seguimiento preliminar del tratamiento para tratar el efluente y esclarecer los recursos disponibles para la ejecución de la alternativa.

3.5.1 Variables. Para definir la forma de proceder respecto a la experimentación posterior se determinaron las variables dependientes e independientes de la alternativa a evaluar.

Como variables dependientes que a su vez cumplen con el papel de variables respuesta, están los parámetros físico-químicos críticos que se seleccionaron de acuerdo con la caracterización del efluente a tratar:

- Turbidez.
- Conductividad.
- Cloruros.
- DQO y DBO.
- Dureza total.

Estas son las variables respuestas que dependerán directamente de unos factores ya sea para la reducción o modificación de ellas mismas. Las denominadas variables independientes son aquellas que se podrán variar a conveniencia de los intereses finales sin que haya otro factor relevante que las afecte directamente.

Teniendo en cuenta la alternativa seleccionada en donde incluye una neutralización, coagulación y floculación y por ultimo un intercambio iónico, las variables independientes son:

- Concentración y dosificación de compuestos y reactivos.
- Tipos de coagulantes y floculantes.

³⁷ LOSADA, Lis Manrique, et al. Estudio preliminar de la capacidad de remoción de iones inorgánicos de una zeolita sintética tipo faujasita. En: Revista Facultad de Ciencias Básicas, vol. 11, no 2 (Julio, 2015) p. 114-123

3.5.2 Descripción metodológica de la alternativa seleccionada. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se hará una pre-experimentación con el fin de evaluar la alternativa seleccionada anteriormente y poder así tener una perspectiva clara de si se eligieron correctamente dosificaciones, concentraciones, reactivos, entre otros factores, para poder avanzar a la posterior experimentación.

En la pre-experimentación se abarcarán tratamientos tales como la neutralización y coagulación y floculación, se excluye completamente el tratamiento de ósmosis inversa en esta fase de prueba debido a que es necesario saber si los reactivos, compuestos y concentraciones de los dos primeros tratamientos son eficientes respecto a la reducción de las variables respuestas, y si cumplen con los objetivos se podrá proceder con el ultimo tratamiento planteado en la alternativa que es la ósmosis inversa.

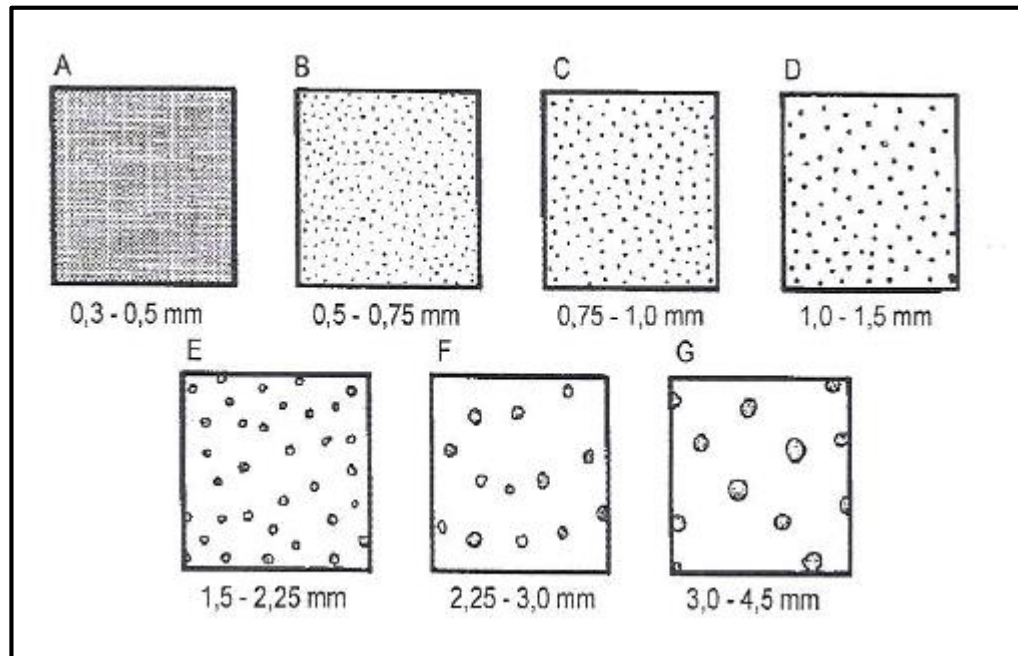
En la primera fase de pre-experimentación se realizará el pre-tratamiento de neutralización de pH de dos maneras diferentes la primera se hará por medio de una titulación directa en donde el reactivo neutralizante es el hidróxido de sodio y se utilizará fenolftaleína como indicador; después de la titulación de la muestra y al presentar una pigmentación rosa se medirá la concentración de NaOH que se utilizó para llegar al pH deseado; el segundo procedimiento que se hará por una dosificación directa de muestra donde se hará la gráfica de pH vs dosificación adicionando de a 1 mL de NaOH al 10% v/v a la muestra hasta lograr el pH deseado.

Seguido de esta fase se realizará el proceso de coagulación y floculación en donde se implementará la gestión de un tanque de flotación por cada coagulante y floculante, como se denotó anteriormente. Así mismo se modificarán los rangos de concentraciones de reactivos a utilizar en este proceso, para un total de 9 corridas en la pre-experimentación de coagulación y floculación.

Posterior a la formación del floc, este será evaluado según la escala del índice de Willcomb, cuyo fundamento principal es determinar el tamaño del floc con base en la descripción visual del mismo, esto con el fin de no someter las nueve corridas a pruebas fisicoquímicas, sino únicamente las que muestran formación del floc visible.

El hacer uso del índice de Willcomb se logrará una correlación en cuanto a la formación del floc en cada una de las corridas, se tendrá en cuenta también el tiempo de sedimentación, así como, también el tamaño del floc, generalmente se estima este tamaño en milímetros como se muestra a continuación:

Figura 19. Diámetros típicos para la evaluación del floc.



Fuente: GIODARNI, Samanta. GONZALES, Luzmari. MORALES, Astrid. QUIJANO, Jessica. TEJADA, Andreina. Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de Mérida. Revista científica juvenil. Mérida. 2009. p. 103.

Este índice indica cualitativamente la efectividad de las diferentes pruebas que se llevaron a cabo y que floculante es el más indicado para la disminución de parámetros críticos. Para esto se tiene en cuenta ciertos índices en función del tamaño y velocidad de sedimentación como se muestra en el **Tabla 21**.

Tabla 21. Índice de Willcomb.

Numero de índice	Descripción
0	Ningún signo de aglutinamiento
2	Floc muy pequeño, casi imperceptible
4	Floc que sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Floc de tamaño relativamente grande, esponjoso que sedimenta con lentitud
8	Floc de sedimentación fácil aunque deja algo de turbiedad en el agua
10	Floc de muy buena sedimentación que deja agua cristalina

Fuente: GALVIS GONZALEZ, Nubia Yanneth. Ensayos de Tratabilidad del Agua, una herramienta concluyente para el Diseño de Plantas de Potabilización. Estudio de caso Acueducto Regional de Occidente, Anserma (Caldas). Manizales, 2014, p. 115. Trabajo de grado (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente) Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas.

En cuanto se halla determinado el índice correcto de las principales muestras que hicieron formación de floc visible, se hallará la determinará el porcentaje de remoción respecto a la variación de turbidez como se muestra en la **Ecuación 6** con el fin de verificar el valor obtenido del índice de Willcomb y así obtener el floculante más óptimo.

Ecuación 6. Porcentaje de remoción.

$$\% \text{ de remocion} = \frac{T_{inicial} - T_{final}}{T_{inicial}} * 100$$

Donde:

$T_{inicial}$: Turbidez de la muestra sin tratar (NTU)

T_{final} : Turbidez de la muestra tratada (NTU)

Contando con la selección del agua con mayor sedimentación respecto a la presencia de flocs se hará la implementación de un filtro a base de carbón activado con el fin de retener los flocs generados, posterior a esto se hará la caracterización correspondiente en donde se sabrá si los tratamientos hechos hasta el momento cumplen con la reducción de estos parámetros.

La parte de experimentación se hace con el fin de hacer dos repeticiones finales en donde también se quiere afinar factores como la potencia de bombeo, tiempo de sedimentación y tiempo de coagulación. En esta segunda fase se evaluará la alternativa en su totalidad, es decir se implementará la neutralización, coagulación y floculación y el intercambio iónico, se contarán con dos corridas en esta parte de la implementación.

Finalmente, se hará la caracterización del efluente tratado y el análisis de los resultados obtenidos reflejados en las variables respuestas.

3.5.3 Recursos y materiales disponibles. Para el desarrollo experimental se realizó un montaje a escala laboratorio para la implementación de la alternativa experimentalmente.

En cuanto al proceso de floculación y coagulación se decidió no hacer un test de jarras, esto debido a que no se contaba con un test de jarras en el laboratorio; por tanto, se buscó otra alternativa más a fin a la cantidad de recursos disponibles, es por esta razón que el tanque de flotación fue la opción más correcta debido a la reducción de costos de implementación y la facilidad de replicación.

Para esto se contó con tres tanques hechos a base de vidrio junto a 2 difusores y 1 bomba. Por cada uno de estos tanques se generará un burbujeo que simule el comportamiento de un tanque de flotación.

Adicionalmente, se hizo uso de mangueras, para la conexión de los difusores a las bombas y poder así generar el burbujeo necesario.

3.6 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para poder realizar un proceso de tratamiento a un efluente residual es necesario hacer un desarrollo experimental a escala laboratorio, previo a tratar grandes cantidades del efluente, con el fin de determinar si la alternativa planteada es la ideal o no, para el proceso de estudio. Por medio de este desarrollo se logrará establecer condiciones de operación (tiempo, temperatura, caudal, etc.), reactivos a utilizar, concentraciones y dosificaciones. En esta sección se llevará a cabo la metodología para desarrollar dicha experimentación.

3.6.1 Pre-experimentación. En esta fase del proceso se quiere poner a prueba la alternativa propuesta en el capítulo anterior, con el fin de determinar su eficiencia y parámetros importantes como el tiempo de remoción y reactivos con su respectiva dosificación óptima para posteriormente afinar estos factores en una última experimentación.

3.6.1.1 Neutralización. Si bien no en todo el proceso en los que se tratan aguas residuales es obligatoria una neutralización antes de tratamientos primarios, secundarios y terciarios en este caso si es de vital importancia la implementación de este pre-tratamiento, debido a que el rango de pH de la muestra a tratar es demasiado ácido, es por esto que si se quiere tener un alto nivel de eficiencia en los tratamientos posteriores es recomendable neutralizar la muestra previo a ellos. Al tener una muestra con valores de rangos tan ácidos es necesaria la presencia de una base para llegar a pH elevados.

Para evaluar la dosis óptima del agente neutralizante se preparó una solución de hidróxido de sodio al 10% v/v , los cálculos pertinentes se encuentran en el **ANEXO K**, el cual hizo de agente titulante, se utilizaron dos gotas de fenolftaleína como agente indicador y una muestra de agua residual de 150 mL, posterior a la adición del indicador en la muestra, se tituló con hidróxido de sodio en constante agitación hasta que la muestra se tornara de un ligero color rosa constante como se muestra en la **Figura 20**.

Figura 20. Neutralización del agua residual con NaOH al 10% v/v.

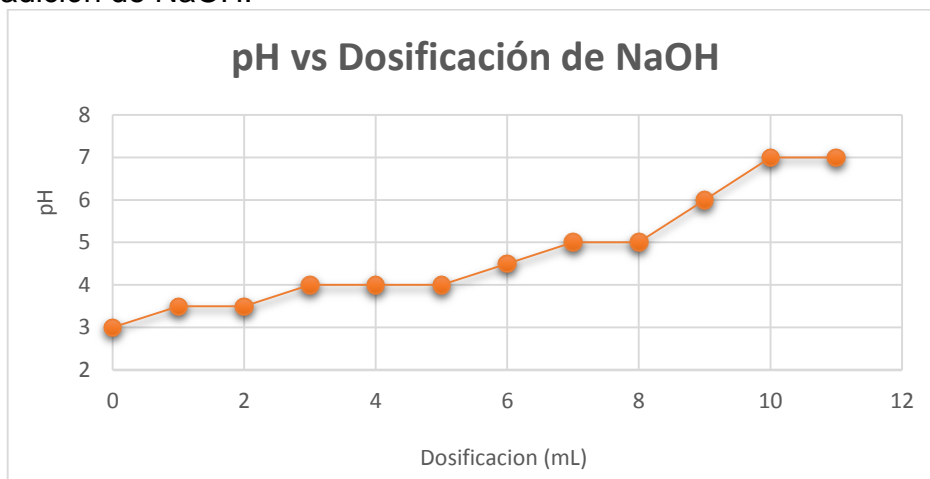


Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior se pudo conocer la dosis óptima de NaOH al 10%, se evaluó el pH en cada una de las muestras tituladas y se determinó que con 8,5 mL de NaOH se llegó al pH deseado, 7.

Para corroborar así mismo esta información se realizó la gráfica de pH vs concentración de neutralizante agregando 1 mL de NaOH al 10% v/v a una muestra de 200 mL y evaluando a su vez el valor de pH como se muestra en la **Gráfica 4**.

Grafica 4. Curva típica de neutralización de agua residual con adición de NaOH.



Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la curva típica de neutralización la dosificación óptima de NaOH es de 10 mL en donde se logra el valor de pH deseado.

Por medio de la siguiente relación se puede determinar cuál es la dosificación correcta de NaOH para un volumen de 500 mL, esto con el fin de tratar la cantidad de agua residual requerida para los tratamientos posteriores.

Ecuación 7. Relación de neutralización.

$$500 \text{ mL } H_2O \text{ clorada} * \frac{10 \text{ mL } NaOH}{200 \text{ mL } H_2O \text{ clorada}} = 25 \text{ mL } NaOH$$

Con la relación anterior podemos determinar el volumen de neutralizante que se necesita para esa cantidad de volumen de agua clorada, es decir que se necesitan 25 mL de NaOH para neutralizar 500 mL de agua residual clorada.

3.6.1.2 Coagulación y floculación. Posterior al proceso de neutralizado se ejecutó el proceso de coagulación y floculación, sin embargo, se realiza la fase de neutralización en primera estancia con el fin de obtener una mayor eficiencia en los siguientes procesos. La experimentación es llevada a cabo por medio de un sistema de ebullición rápida y lenta junto con una sedimentación.

Para llevar a cabo los ensayos se determinaron ciertos parámetros necesarios para la ejecución del tratamiento como se muestra en el **Tabla 22**.

Tabla 22. Parámetros para ensayos coagulación-floculación.

Parámetro	Valor	Unidad
Ebullición rápida	200	W
Tiempo de ebullición rápido	1	min
Ebullición lenta	50	W
Tiempo de ebullición lenta	20	min
Tiempo de sedimentación	15	min

Fuente: elaboración propia.

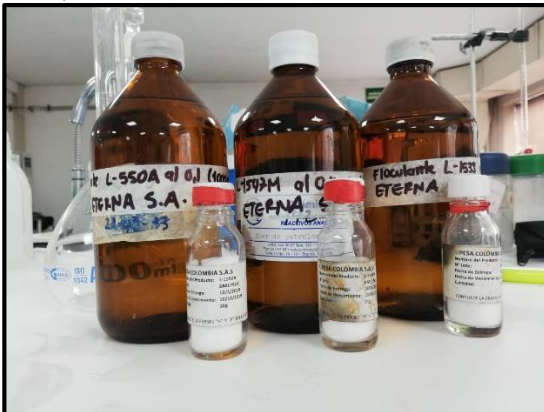
Para llevar a cabo los ensayos se seleccionó como primer coagulante el sulfato de aluminio, después de hacer su respectiva revisión bibliográfica se encontró que el sulfato de aluminio como coagulante se maneja a base de soluciones en donde las concentraciones ideales son de 5% y 10% (equivalente a 50.000 ppm y 100.000). De igual forma para la concentración y dosificación de los diferentes floculantes seleccionados se tuvo en cuenta el **ANEXO H**, **ANEXO I** y **ANEXO J** el cual se realizó una solución por cada floculante al 0,1% (1000 ppm) y su dosificación ideal es de 1 mL.

- **Preparación de Coagulantes:** Para preparar las soluciones al 5% sulfato de aluminio y 10% de cloruro ferroso se pesaron 25g y 50g de reactivo

respectivamente se diluyeron cada uno en 50 mL de agua destilada y posterior se aforó a 500 mL con agua destilada.

- **Preparación de floculantes:** Se prepararon soluciones de cada uno de los floculantes al 0,1%, se midieron 0,5g de los reactivos luego se diluyeron en 20 mL de agua destilada y posteriormente se aforo a 500 mL de agua destilada.

Figura 21. Soluciones de floculantes al 0,1% v/v.



Fuente: elaboración propia.

- **Ensayo 1: Sulfato de aluminio al 5%.** Para el primer ensayo se seleccionaron tres muestras de 500 mL en donde como primer paso se neutralizó con 25 mL de NaOH al 10%, se midió el pH arrojando un valor de 7, posterior a la neutralización se añadieron los mililitros de coagulante $Al(SO_4)_3$ al 5% hasta que se observó la desestabilización de las partículas; posteriormente, se adicionaron los diferentes floculantes por cada una de las muestras a una dosificación inicial de 1 mL, dejando sedimentar y observar si se formó el floc, al notar que no se formaba el floc se agregó 1mL de floculante hasta ver la formación del floc.

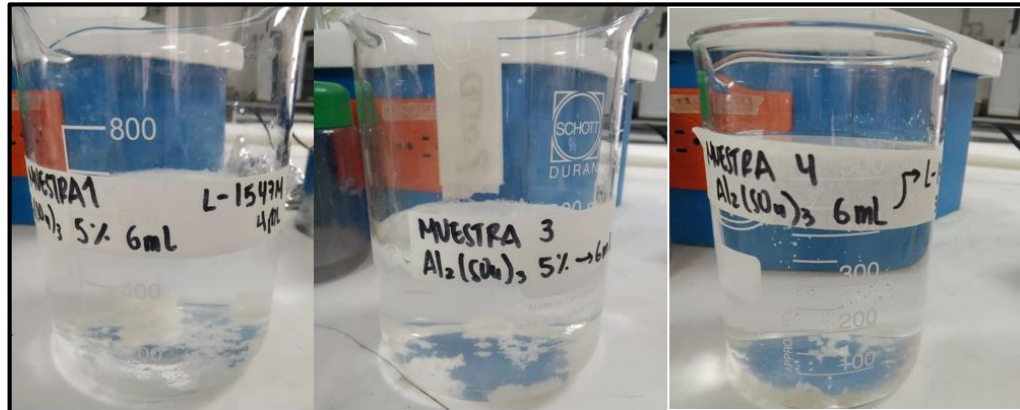
Tabla 23. Especificaciones ensayo No.1

	Tanque 1		Tanque 2		Tanque 3	
Muestra	500 mL	Muestra	500 mL	Muestra	500 mL	
Coagulante	$Al(SO_4)_3$ 5%	Coagulante	$Al(SO_4)_3$ 5%	Coagulante	$Al(SO_4)_3$ 5%	
Dosis coagulante	6 mL	Dosis coagulante	6 mL	Dosis coagulante	6 mL	
Floculante	L-1547M	Floculante	L-1538	Floculante	L-1550A	
Dosis floculante	4 mL	Dosis floculante	4 mL	Dosis floculante	4 mL	

Fuente: elaboración propia.

Al llevar a cabo el ensayo No.1 se pudo visualizar la formación de floc en el agua residual del proceso de clorinación con las especificaciones dadas en la **Tabla 23**, de la siguiente manera:

Figura 22. Ensayo 1 determinación dosis óptima de coagulante y floculante.



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los flocs que se formaron en el ensayo No.1 se determinó el índice de Willcomb y el porcentaje de remoción de cada una de las muestras.

Tabla 24. Determinación dosis óptima de floculante.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Índice de Willcomb	6	4	4
Porcentaje de remoción	77,19%	73,21%	69,09%

Fuente: elaboración propia.

- **Ensayo 2. Hidroxicloruro de aluminio (ACH).** En el ensayo No. 2 se seleccionaron, de igual manera, tres muestras de 500 mL, se neutralizaron y se midió el pH arrojando un valor próximo a 7. Debido a que el Hidroxicloruro de aluminio (ACH) es un coagulante-floculante tipo PAC'S no necesita un reactivo adicional para la formación del floc, es por esto que se evaluaron tres muestras con diferentes concentraciones de Hidroxicloruro de aluminio.

Tabla 25. Especificaciones ensayo 2.

Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Muestra	500 mL	Muestra	500 mL	Muestra	500 mL
Coagulante	ACH	Coagulante	ACH	Coagulante	ACH
Dosis coagulante	6 mL	Dosis coagulante	6 mL	Dosis coagulante	6 mL

Fuente: elaboración propia.

Al finalizar el tiempo de sedimentación se pudo observar que se formaron flocs como se muestra en la **Figura 23**.

Figura 23. Ensayo 2 determinación dosis óptima de coagulante y floculante.



Fuente: elaboración propia.

Se determinó el índice de Willcomb y el porcentaje de remoción.

Tabla 26. Determinación dosis óptima de floculante.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Índice de Willcomb	2	2	2
Porcentaje de remoción	17,44%	23,57%	19,36%

Fuente: elaboración propia.

- **Ensayo 3. Cloruro ferroso al 10%.** En el ensayo 3, se seleccionaron 3 muestras de 500 mL, las cuales se neutralizaron de la siguiente manera; muestra 1 y 2, a un pH cercano a 7, para la muestra 3 a un pH cercano a 8. Se evaluaron diferentes dosificaciones del coagulante y de la misma manera para los floculantes, siendo hasta el momento, el ensayo más efectivo en términos de formación de floc y su relación con el índice de Willcomb.

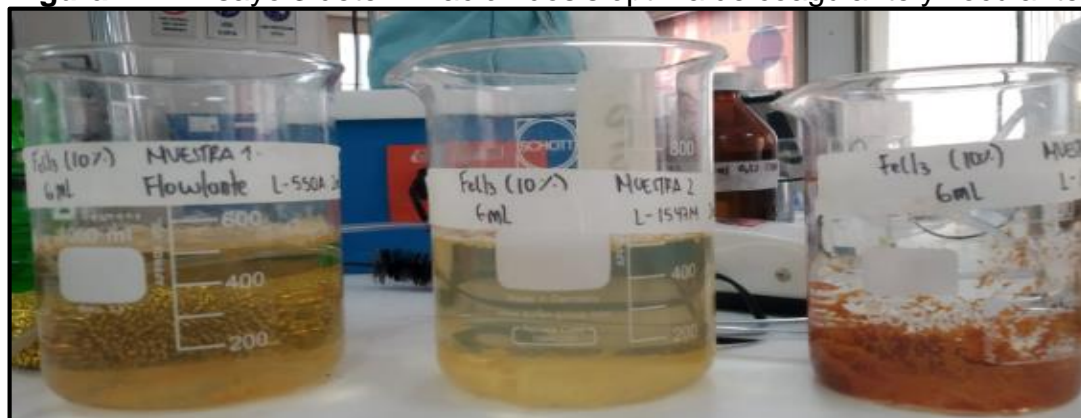
Tabla 27. Especificaciones ensayo 3.

Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Muestra	500 mL	Muestra	500 mL	Muestra	500 mL
Coagulante	$FeCl_3$ 10%	Coagulante	$FeCl_3$ 10%	Coagulante	$FeCl_3$ 10%
Dosis coagulante	6 mL	Dosis coagulante	6 mL	Dosis coagulante	6 mL
Floculante	L-1538	Floculante	L-1547M	Floculante	L-1550 ^a
Dosis floculante	2 mL	Dosis floculante	2 mL	Dosis floculante	2 mL

Fuente: elaboración propia.

Al finalizar el tiempo de sedimentación, se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 24. Ensayo 3 determinación dosis óptima de coagulante y floculante.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se determinó el índice de Willcomb y el porcentaje de remoción.

Tabla 28. Determinación dosis óptima de floculante.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Índice de Willcomb	8	8	10
Porcentaje de remoción	94,36%	96,75%	96,92%

Fuente: elaboración propia.

Posterior al proceso de coagulación y floculación pudimos dar por terminada la pre-experimentación. En un principio se quería seleccionar el floculante y coagulante de acuerdo al índice dado de Willcomb, sin embargo y como la mayoría de las muestras mostraron una similitud en la formación del floc se realizó la caracterización a cada una de las muestras tratadas que formaran un floc visible, para así poder seleccionar el coagulante y floculante óptimo respecto a la reducción de parámetros críticos.

3.6.2 Discusión de resultados pre-experimentación. Para la discusión de resultados se tuvo en cuenta las muestras tratadas de agua después del proceso de coagulación y floculación que presentaron formación de floc visible, de igual forma se evaluaron los diferentes parámetros críticos de las muestras tratadas, esto con el fin de tener un panorama verídico en la reducción de parámetros críticos.

3.6.2.1 Descripción del muestreo. Para llevar a cabo la caracterización de las respectivas muestras tratadas en la pre-experimentación se recolectó el agua ya tratada de cada uno de los ensayos realizados, las muestras fueron almacenadas en envases de vidrio ámbar de a 500 mL.

En esta caracterización se evaluaron los parámetros críticos seleccionados anteriormente (DQO, DBO, dureza total, cloruros, conductividad y turbidez). La determinación de estos parámetros se halló no mayor a 24 horas de recogida la muestra, esto con el fin de evitar descomposición en la misma.

3.6.2.2 Caracterización del efluente tratado (pre-experimentación). En la determinación de los parámetros se usaron las mismas técnicas que se llevaron a cabo en la primera caracterización de diagnóstico es decir técnicas básicas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de aquellas las muestras en las que se visualizó formación del floc consistente:

Tabla 29. Resultados caracterización agua tratada ensayo 1.

		Muestra1	Muestra 2	Muestra 3
PARÁMETRO	UNIDAD			
pH	-	4,19	4,22	4,25
DQO	mg/L	291	310	339
DBO	mg/L	189	201	220
Cloruros	mg/L Cl	451	501	523
Conductividad	µs/cm	1490	1546	1419
Turbidez	NTU	8,3	9,75	8,3
Dureza total	mg/L CaCO ₃	271	248	293

Fuente: elaboración propia.

Tabla 30. Resultados caracterización agua tratada ensayo 3.

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1 MUESTRA 2 MUESTRA 3		
pH	-	6,23	5,94	6,02
DQO	mg/L	152	178	205
DBO	mg/L	139,75	121,55	133,25
Cloruros	mg/L Cl	215	187	321
Conductividad	us/cm	1300	1633	1410
Turbidez	NTU	2,05	1,18	1,12
Dureza total	mg/L CaCO ₃	250	230	247

Fuente: elaboración propia.

3.6.2.3 Análisis de parámetros. De acuerdo con los resultados obtenidos de cada una de las muestras tratadas, se realizó la comparación de los parámetros críticos evaluados en el diagnóstico inicial respecto a los obtenidos en la pre-experimentación. Se determinó que el Ensayo 3, fue el que presentó los resultados favorables en términos de la reducción de los parámetros críticos a tratar en el proceso de coagulación-floculación, y se evidencia de manera más específica en la Muestra 3, para el ensayo ya mencionado anteriormente como se muestra en la **Tabla 31**.

Tabla 31. Comparación de resultados.

Parámetro	Unidad	Agua clorinada sin tratar	Agua clorinada tratada
pH	-	2,3	6,02
DQO	mg/L	357	205
DBO	mg/L	232,05	133,25
Cloruros	mg/L Cl	544	321
Conductividad	μs/cm	2440	1410
Turbidez	NTU	36,4	1,12
Dureza total	mg/L CaCO ₃	320	247

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de resultados obtenidos en la pre-experimentación, se seleccionaron los Ensayos 1 y 3, teniendo en cuenta que fueron los ensayos en donde se presentó la formación de floc estable con un índice de Willcomb entre 8-10.

En la **Tabla 29**, se muestran los resultados de la caracterización posterior al tratamiento realizado con una solución de coagulante de Sulfato de Aluminio $Al(SO_4)_3$ y tres floculantes al 5%.

El agua residual utilizada para este proceso de tratamiento fue una mezcla denominada como Ref. 6 en la **Tabla 7** detallada en el numeral 2.6.2. Teniendo en cuenta lo anterior se puede observar que, en los tres ensayos realizados, el tratamiento disminuyó todos los parámetros críticos, se debe considerar que los procesos de coagulación y floculación son utilizados principalmente para disminuir parámetros tales como pH, turbidez, DBO y DQO.

La disminución de estos parámetros se debe principalmente a la desestabilización de coloides, según Uriarte Alex esta desestabilización ocurre principalmente por la superación de las fuerzas de interacción que mantienen su estabilidad³⁸.

En el caso del Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, que es una sal metálica, el mecanismo de desestabilización de coloides, es la precipitación, según Aguilar³⁹, cuando se añade una cantidad considerable de este tipo de coagulantes se ocasiona la precipitación rápido de un hidróxido metálico, particularmente $Al(OH)_3$ y además, las partículas coloidales quedan inmersas dentro de los precipitados a medida que se da la formación de estos, la velocidad de este fenómeno depende de la sobresaturación de la disolución.

Teniendo en cuenta lo anterior y las características del agua a tratar, debido a la alta presencia de partículas coloidales en el agua, esto relacionado a parámetros como la turbidez, DBO y DQO, la formación de precipitados va a ser más fácil debido a la afinidad del coagulante a desestabilizar cargas negativas, por lo cual la velocidad de precipitado aumenta con la presencia de aniones en la disolución.

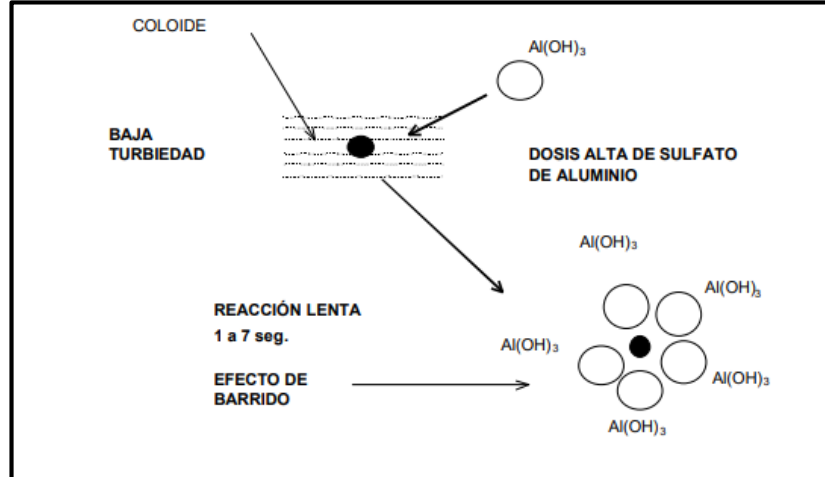
La baja turbidez que presenta el agua que se trató, permite determinar que el tipo de coagulación que se llevó a cabo en estos procesos de tratamiento según Andia Yolanda, es una coagulación por barrido, lo cual que las partículas son atrapadas al producirse una saturación de precipitado resultante del sulfato de aluminio⁴⁰, como se muestra en la **Figura 25**.

³⁸ URIARTE, Alex. Remoción del zinc del efluente de la mina Contonga mediante coagulación y floculación. Trabajo de grado de Maestro en ecología y gestión ambiental. Lima: Universidad Ricardo Palma. Escuela de posgrado. 2019. p. 66.

³⁹AGUILAR, M. I. et al. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. España: Editum, 2002. p. 40

⁴⁰ ANDÍA, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Lima. 2000. SEDEPAL. p 27

Figura 25. Coagulación por barrido.



Fuente: ANDÍA, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Lima. 2000. SEDEPAL. p 27.

El tipo de floculación que se presentó en el **Ensayo 1**, según Andia Yolanda, es de tipo ortocinética debido al movimiento presente en el agua para promover el proceso de floculación y su efectividad, este movimiento es de tipo hidráulico⁴¹. Debido a que se utilizan floculantes de tipo aniónico (L-1547M y L-1538) y uno no iónico (L-550A).

La alta solubilidad en agua que tienen los floculantes de tipo aniónico que generalmente son copolímeros de la acrilamida, se ve relacionado directamente con la facilidad de estos para aglomerar o formar un floc con los coloides desestabilizados con anterioridad en el proceso de coagulación, es decir que para el caso del **Ensayo 1**, en la Muestra 1 al utilizar un floculante de tipo aniónico, se obtuvieron los mejores resultados en términos de los parámetros críticos que se buscaban reducir en el proceso de coagulación-floculación. Se evidencia esto a partir de la formación de floc y también con los valores iniciales y finales de la turbidez.

Como se evidenció en el proceso de coagulación y floculación, la formación del floc es alta cuando se utiliza cloruro férrico ($FeCl_3$) y el polímero no iónico (L-550A), lo cual indica que el proceso de tratamiento fue efectivo para la remoción de parámetros críticos, principalmente por la afinidad que tienen estos reactivos para el tratamiento de efluentes residuales que presentan características similares al que se trató.

⁴¹ ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Perú: SEDAPAL. 2000. p. 33.

Teniendo en cuenta la reducción drástica de ciertos parámetros críticos que se muestran en la **Tabla 31** se seleccionaron los procesos continuos pertinentes para la culminación del tratamiento al efluente, partiendo de los resultados obtenidos en la caracterización a la muestra tratada.

Si bien posterior al proceso de coagulación y floculación se evidenció que la formación del floc es alta, especialmente si se utiliza el cloruro férrico, se consideró adicionar un filtro multimedia al tratamiento para el efluente, esto con el fin de quitar el floc que se obtuvo en esta fase del proceso y lograr disminuir aún más parámetros como el DQO, DBO, color, olor entre otros.

3.6.3 Experimentación. La fase de experimentación es la parte definitiva en cuanto a la evaluación de la alternativa planteada anteriormente. Para el desarrollo de la experimentación se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en la pre-experimentación con el objetivo de afinar las variables presentes en el proceso y poder así mismo disminuir en mayor proporción los parámetros críticos a evaluar.

3.6.3.1 Neutralización. Similar a la pre-experimentación se realizó la neutralización de la muestra con hidróxido de sodio mediante adición directa milímetro a milímetro de una solución de NaOH al 10% hasta lograr el pH requerido que en este caso es de un rango de 7-9 para así garantizar la eficiencia del siguiente proceso en la adición del coagulante y floculante seleccionado en la pre-experimentación.

Se evaluó una muestra de 500 mL de agua clorada el cual se necesitaron alrededor de 25 mL de NaOH al 10% para conseguir un pH próximo a 8.

3.6.3.2 Coagulación y floculación. Similar a la fase de coagulación y floculación de la pre-experimentación se realizó el mismo procedimiento con el coagulante y floculante seleccionado como óptimo, siendo este el cloruro férrico a una concentración de 10% y el L-1550A respectivamente.

Se inició con la medición de la muestra a tratar el cual fueron 800 mL de agua clorada; se neutralizó a un pH óptimo de 8 ya que como se evidenció en la pre-experimentación estos tipos de reactivos tienen un mayor efecto en este intervalo de pH. Muy similar a la pre-experimentación, se llevó a cabo un tiempo de burbujeo rápido, lento y finalmente uno de sedimentación para así poder obtener la formación del floc.

3.6.3.3 Filtración (Filtro multimedia). Posterior al proceso de coagulación y floculación se optó por realizar el montaje de un filtro multimedia. Este tipo de filtros cumplen con el principal objetivo de filtrar los sólidos suspendidos en el agua por medio de varias capas de material filtrante generalmente comenzando desde los más gruesos a los más finos, esto con el fin de garantizar la correcta remoción de sólidos. Aunque existen diversos materiales para utilizar como filtro multimedia uno de los factores a tener en cuenta es el tipo de lecho filtrante ya que tiene que cumplir

con ciertas propiedades; de igual forma, en el proceso de filtración influyen ciertas variables a considerar como:

- Características del medio filtrante.
- Porosidad del lecho filtrante.
- Profundidad del lecho filtrante.
- Tasa de filtración.
- Características del efluente.
- Perdida de carga disponible.

Teniendo en cuenta las variables importantes para llevar a cabo un filtro multimedia se procede a la selección de medios filtrantes:

Tabla 32. Selección lechos filtrantes.

Lecho filtrante	Descripción
Gravilla de ¾” - Grava de ¼”	La principal función de la grava no es de purificación como retención de sólidos o bacterias sino de dar estabilidad, una base y un soporte a todo el filtro
Arena de Ø= 0.75 mm	Retiene gran variedad de microorganismos hasta un 99.9% de remoción (Bacterias, hongos, algas, protozoarios entre otros), de carbono orgánico hasta un 50%, el color se remueve hasta un 60% y hierro hasta un 30%
Carbón activado	Atrae, captura y rompe moléculas contaminantes presentes, detiene especialmente aceites, poli- hidrocarburos, aromáticos, cloro entre otros, elimina a su vez sustancias que generan sabores, malos olores al agua, materia orgánica, microorganismos etc.
Antracita	Excelente medio filtrante para la clarificación del agua, debido a la forma especial del grano permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho.
Zeolita	Es un absorbente natural por su alto grado de hidratación, absorbe partículas de hasta 5 micras, neutraliza así mismo ciertos elementos reduciendo la acidez, fosfatos, cloruros, sulfatos y metales pesados. Adicionalmente este tipo de zeolita elimina de 7000 g a 12000 g de dureza total.

Fuente: elaboración propia, con base en ANGEL, Jeimmy Catalina. MORALES, Yurany Lisseth. Propuesta para el diseño preliminar de un sistema de potabilización de agua subterránea en una institución educativa ubicada en el municipio de Chimichagua, Cesar. Bogotá D, C: Universidad de La Salle. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería ambiental y sanitaria. 2016.

Se dispuso el filtro desde el medio más grueso al más fino. En la **Tabla 32** se muestran generalmente las propiedades de cada lecho iniciando con la gravilla y grava debido a que la capa superior a estos es un medio fino generalmente arena o antracita para que la soporte; en medio de estos lechos se colocó el carbón

activado, esto con el fin de evitar la saturación rápida del mismo; y por último, se utilizó zeolita, ya que esta es ideal para absorción de partículas demasiado pequeñas; posterior a todos los lechos filtrantes se utilizó algodón con el fin de retener los lechos en su lugar y evitar de igual forma filtraciones de partículas no deseadas.

El filtro cuenta con un diámetro de entrada de 0,12m y un diámetro de salida 0,024m, tiene una dirección de flujo descendente con seis medios filtrantes ubicados de gruesos a finos exceptuando la zeolita como se muestra en la **Figura 26**.

Figura 26. Filtro multimedio.



Fuente: elaboración propia.

El propósito de hacer un sistema de filtración posterior al proceso de coagulación y floculación es disminuir aun en mayor proporción las impurezas aun presentes en el agua residual, específicamente se quiere minimizar parámetros como DQO, DBO adicionales al olor y color.

En la **Tabla 33** Se muestran las especificaciones del filtro experimentales llevada a cabo en el laboratorio.

Tabla 33. Especificaciones experimentales del filtro

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro de entrada	0,12	m
Altura de Gravilla $\frac{3}{4}$	0,03	m
Altura Grava $\frac{1}{4}$	0,03	m
Altura arena de $\varnothing= 0.75$ mm	0,03	m
Altura carbón activado	0,03	m
Altura antracita	0,03	m
Altura zeolita	0,03	m
Altura total filtro	0,27	m
Diámetro de salida	0,024	m
Caudal	$1,4880 \times 10^{-6}$	m^3/s
Área de salida	$2,4429 \times 10^{-4}$	m^2
Velocidad de filtración	$6,0911 \times 10^{-3}$	m/s

Fuente: elaboración propia.

Teniendo el diámetro de salida del filtro y el caudal que se halló por medio de una relación volumen-tiempo, se pudo hallar la velocidad de filtración la cual indica el tiempo de retención del efluente a tratar en el filtro, es preciso decir que a mayor tiempo de retención del efluente en cada uno de los lechos filtrantes mayor será la remoción de los parámetros críticos.

3.6.3.4 Ultrafiltración. Si bien en la propuesta planteada antes de la experimentación se decidió la implementación de una osmosis inversa como última fase para tratar el agua, se llegó a la conclusión después de una revisión bibliográfica que para proceder con un proceso de osmosis inversa siempre es recomendable realizar en primer lugar una ultrafiltración, esto con el objetivo de alargar el tiempo de vida útil de las membranas de filtración.

Sin embargo y teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la pre-experimentación se propone hacer el proceso de ultrafiltración no de forma simultánea al de ósmosis inversa, si no de forma separada esto con el fin de evaluar si las características del agua después de la ultrafiltración son óptimas para la posible reutilización del efluente en el proceso de clorinación.

Es por lo anterior que para la última fase de tratamiento en este proyecto se plantea una ultrafiltración, en esta fase se quiere lograr la separación de parámetros que aún persisten en la muestra como los cloruros, DQO, DBO, proteínas entre otros por medio de una membrana semipermeable. Esta membrana tiene un tamaño de poro mucho más pequeño que los filtros estándares como el de multimedia que se realizó en la fase anterior, siendo el tamaño del poro alrededor de 0,001-0,02 micrómetros.

En esta fase del proceso se solicitó un servicio de prueba de ultrafiltración en la empresa Aquanova, en el cual se recomienda un tipo de membrana semipermeable más adecuada para tratar el efluente según las condiciones que presenta. Se utilizó una membrana “*Hollow Fiber*” de referencia RE5371302 como se muestra en el ANEXO L.

Tabla 34. Especificaciones técnicas unidad de ultrafiltración.

Parámetro	Valor
Membrana	Hollow Fiber Ref: RE5371302
Tipo de membrana	Capilar hidrófilas-Orgánica
Número de trenes de membranas	3
Numero de módulos por membrana	30
Filtración de flujo	Normal
Caudal	1 m ³ /h
Fuerza impulsora	2,75 bar = 40 psi
Temperatura agua residual	20 °C
Diámetro del modulo	0,01
Diámetro de la membrana	0,8 mm
Altura del tanque de membrana	1 m

Fuente: elaboración propia, con base en AQUANOVA.

Para el correcto funcionamiento de este proceso se utilizó como fuerza impulsora una presión de 40 psi de igual manera se estableció realizar una prueba piloto con un volumen de agua clorada próximo a 1 m³.

A la muestra seleccionada se le hicieron los tratamientos previos iniciando con la neutralización agregando 4 L de solución de NaOH al 10% al agua a tratar; se midió el pH el cual dio un valor de 8; posterior al neutralizado se realizó el proceso de coagulación y floculación en el cual se agregó el cloruro ferroso a una concentración del 10% y una dosificación de 12 L, posterior a la formación del floc el efluente fue pasado por el filtro multimedia que la empresa ETERNA S.A ya tenía en sus instalaciones.

Finalmente se procedió a realizar la prueba piloto de la ultrafiltración por medio del cartucho de filtración seleccionado como se muestra a continuación en la **Figura 27**.

Figura 27. Unidad de ultrafiltración



Fuente: elaboración propia.

3.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN

Culminada la fase de experimentación se evaluó por medio de una caracterización los parámetros críticos del agua tratada, esto con el fin de determinar si los tratamientos agregados en esta fase fueron efectivos y saber hasta qué punto se llegó con la alternativa planteada.

3.7.1 Descripción del muestreo. Para llevar a cabo la caracterización de la muestra tratada en la experimentación final se recolectó el agua ya tratada mediante un muestreo simple, después del proceso de ultrafiltración. Las muestras fueron almacenadas en envases de vidrio ámbar con capacidad de 1 Litro.

En esta caracterización se evaluaron los parámetros críticos seleccionados anteriormente (DQO, DBO, dureza total, cloruros, conductividad y turbidez). Para la determinación de estos parámetros fue necesario que los análisis pertinentes no se hicieran un tiempo mayor a 24 horas de recogida la muestra, para evitar descomposición en la misma.

3.7.2 Caracterización de experimentación. Para la determinación de los parámetros se usaron las mismas técnicas que se llevaron a cabo en las caracterizaciones anteriores es decir técnicas básicas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del agua final tratada en la experimentación.

Tabla 35. Resultados caracterización agua tratada experimentación final.

Parámetro	Unidad	Agua clorinada sin tratar	Agua clorinada tratada	Resolución 1207 de 2014 Reutilización para industria	Nivel de cumplimiento del parámetro
<i>pH</i>	-	2,3	6,74	6-9	Si cumple
<i>DQO</i>	mg/L	357	187	ND	ND
<i>DBO</i>	mg/L	232,05	121	ND	ND
<i>Cloruros</i>	mg/L Cl	544	287	300 mg/L Cl	Si cumple
<i>Conductividad</i>	µs/cm	2440	1260	ND	ND
<i>Turbidez</i>	NTU	36,4	1,12	ND	ND
<i>Dureza total</i>	mg/L CaCO ₃	320	202	ND	ND

3

Fuente: elaboración propia.

3.7.3 Análisis de parámetros. Todos los tratamientos utilizados en el proceso de experimentación fueron direccionados con el fin de reducir los parámetros críticos del agua residual, todo esto con el fin de determinar si estos son los apropiados para obtener un agua tratada con características adecuadas para ser reutilizada en el proceso de clorinación y de acuerdo con los resultados de la **Tabla 35**, el agua sin previo tratamiento no es apta para esto.

En la **Tabla 35**, se muestran los resultados obtenidos del tratamiento del agua residual con una dosificación de 6 mL de Cloruro férrico y 2 mL de floculante no iónico L-550A, además, de una neutralización previo a un pH cercano a 8, que de acuerdo a la pre experimentación, es el valor óptimo para la operación de los agentes de coagulación y floculación.

El agua residual del proceso de clorinación analizada posee valores considerablemente altos de DBO y DQO, esto se debe principalmente como ya explicó anteriormente, debido que este proceso se utiliza con el objetivo principal de desestabilizar las proteínas presentes en los guantes de caucho látex.

El parámetro de operación con el cual se evalúa la eficiencia de un proceso de coagulación, es la turbidez, que además mide de manera indirecta la concentración de partículas o coloides presentes en el agua, por lo cual el porcentaje de remoción de 96.92%, muestra un resultado satisfactorio y que en conjunto con la disminución considerable de los parámetros como DBO y DQO, esto se explica de manera teórica principalmente por la afinidad que tienen los reactivos utilizados en el proceso.

Según Zerbato, el cloruro férrico tiene una ventaja con respecto a otro tipo de coagulantes utilizados en los tratamientos de aguas residuales, debido al amplio rango de pH y temperatura que maneja. Adicionalmente, cuando se utilizan coagulantes metálicos, estos presentan cargas positivas que neutralizan cargas negativas de la materia orgánica⁴² (DBO) y forma complejos insolubles con facilidad, es decir que en conjunto con un floculante no iónico, se presenta la reducción indirecta, que aunque no es significativa de otro parámetros críticos como cloruros y conductividad.

Los resultados obtenidos del tratamiento del efluente mediante coagulación y floculación, son satisfactorios en términos de la reducción de materia orgánica y turbidez, pero se decidió evaluar un filtro multimédios para la reducción de los parámetros que siguen siendo críticos como lo son conductividad, cloruros y dureza total.

La utilización de un filtro multimédios es necesaria principalmente para filtrar sólidos disueltos y suspendidos, además los objetivos específicos de cada uno de estos materiales, lo cuales están especificados en la **Tabla 32**, ayudan a entender de manera más adecuada, porque se da la reducción de los parámetros críticos. Con la utilización de la zeolita, se busca la reducción de elementos como los cloruros, que como se ha explicado a lo largo del desarrollo del proyecto, se relaciona de manera directa con la conductividad, además, de la eliminación de la dureza total, esto aporta de manera significativa a las condiciones aproximadas que se desean obtener para la reutilización del agua en el proceso de clorinación.

Finalmente, como se requiere obtener un agua que tenga condiciones muy similares al agua que entra al proceso de clorinación para así mismo hacer una evaluación para su posible reutilización como ya se mencionó, un tratamiento de tipo terciario como la ultrafiltración es el más adecuado para tener un efluente con un grado más alto de pureza y para reducir de manera considerable dureza y cloruros, esto debido al uso membranas capilares hidrófilas orgánicas. El mecanismo convectivo bajo el que funcionan este tipo de membranas, se debe a un gradiente de presión hidrostática, lo cual permite la separación de macromoléculas moléculas o partículas pequeñas (Cl^- , Mg^{+2} y Ca^{+2}).

⁴² ZERBATO, Mariel. CARRERA, Elena. ELIGGI, Maria. MODINI, Laura. VAIRA, Stella. NOSEDA, Juan. ABRAMOVICH, Beatriz. Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. Sección de aguas. Facultad de bioquímica y ciencias biológicas. Santa Fe. 2009. p 6.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Posterior al desarrollo experimental en donde se seleccionó la alternativa de tratamiento a seguir, son necesarias las especificaciones de diseño el cual incluirán circuito del efluente a reutilizar, dimensiones de los equipos y dosificaciones exactas calculadas para el volumen respectivo de estos equipos en el orden secuencial correspondiente, iniciando con una homogenización seguida de la neutralización, una coagulación y floculación, filtrado y por ultimo osmosis inversa.

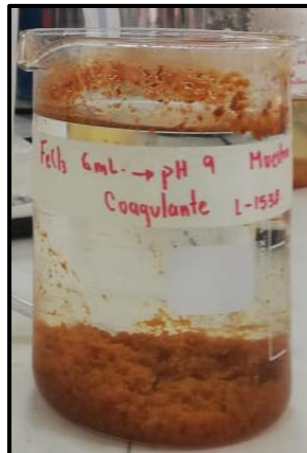
4.1 CIRCUITO DEL EFLUENTE

Si bien el caudal a tratar diario será de 24m^3 hay que tener en cuenta la pérdida de este al paso de cada uno de los tratamientos seleccionados para tratar el efluente residual.

La primera fase de la alternativa seleccionada se llevará a cabo en el tanque de homogeneizado junto con el proceso de neutralización, el porcentaje de pérdida en esta unidad es casi nulo ya que no retiene ningún tipo de impureza o lodos de sedimentación, lo que es diferente para el tanque clarificador, ya que el porcentaje de pérdida se halló mediante la cantidad de sólidos sedimentados en la fase cónica, que corresponde al sedimentador.

Según las pruebas realizadas en el laboratorio en la fase de coagulación y floculación, por cada 500 mL de agua residual sin tratar y un tiempo de sedimentado de 15 minutos, resultan 100 mL de sólidos sedimentados como se muestra en la **Figura 28**.

Figura 28. Volumen de sólidos sedimentados.



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior se dice que los sólidos sedimentados son 1/5 parte del volumen total de agua residual a tratar, para el porcentaje de pérdida en esta fase se halló de la siguiente manera como se muestra en la **Ecuación 8**.

Ecuación 8. Porcentaje de recuperación del clarificador.

$$\text{Recuperación} = \frac{\text{Flujo de producto}}{\text{Flujo de alimentacion}} * 100\%$$

$$\text{Recuperación} = \frac{400 \text{ ml de agua residual tratada}}{500 \text{ ml de agua residual sin tratar}} * 100\% = 80\%$$

Por tanto, se tiene que el 80% de agua tratada es la que se obtiene después del proceso de coagulación y floculación, el porcentaje de pérdida de agua tratada en esta fase es del 20% dando así un caudal de salida en el clarificador de:

$$Q_{out,clarificador} = 19,2 \frac{m^3}{dia}$$

En cuanto a la fase de filtración por lecho multimedio se halló el porcentaje de pérdida de forma análoga al de la fase de clarificación; por tanto, se obtuvo un porcentaje de recuperación del 90% respecto al efluente de salida posterior al filtro, el porcentaje de pérdida es de 10% que corresponden a impurezas y sólidos restantes que aún se encontraban en la muestra.

Ecuación 9. Porcentaje de recuperación fase de filtración.

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{360 \text{ ml de agua residual tratada}}{400 \text{ ml de agua residual sin tratar}} * 100\% = 90\%$$

De acuerdo con lo anterior para la fase de ultrafiltración se cuenta con un caudal de agua:

$$Q_{out,filtro} = 17,28 \frac{m^3}{dia}$$

De acuerdo a la prueba piloto desarrollada en las instalaciones de Eterna S.A se utilizará la **Ecuación 10** para hallar el flujo de alimentación ya que para una unidad de ultrafiltración se considera un porcentaje de recuperación del 85% según la empresa proveedora AGUANOVA, despejando el flujo de producto obtendríamos:

Ecuación 10. Caudal de producto final.

$$\text{caudal de producto final} = \frac{\% \text{ Recuperación} * \text{caudal de alimentacion}}{100\%}$$

Reemplazando se obtuvo:

$$\text{caudal de producto final} = \frac{87\% * 17,28 \frac{m^3}{\text{día}}}{100\%} = 15,03 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Al termina el proceso de ultrafiltración se obtuvo un caudal de 15,03 m³/ día. Seguido a este valor se halló el porcentaje de recuperación total al llevar a cabo la alternativa propuesta de la siguiente manera:

$$\% \text{ Recuperación total} = \frac{15,03 \frac{m^3}{\text{día}}}{24 \frac{m^3}{\text{día}}} * 100\% = 62,6\%$$

De acuerdo al cálculo anterior se obtiene un porcentaje de pérdida del 37,3% del agua residual tratada del proceso de clorinación.

4.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Para llevar a cabo las dimensiones necesarias de los equipos se realizó la respectiva revisión bibliográfica⁴³ y junto con el balance hídrico y la experimentación llevada a cabo en el capítulo anterior, es posible desarrollar las dimensiones adecuadas a fin del caudal de agua necesario a tratar en la empresa.

4.2.1 Tanque de homogenización. El tanque de homogenización tiene como principal objetivo regularizar el flujo y disminuir en su defecto la variación de este, así como también de las concentraciones del efluente a tratar, si bien como el sistema a tratar es continuo suponemos que la variación de caudales de entrada es elevada y por tanto si este no se regula afectara los procesos posteriores que se llevaran a cabo. Es debido a esto que se implementó una unidad de homogenización en donde se podrán retener o acumular las aguas residuales provenientes de las clorinadoras y luego ser dosificadas mediante un bombeo al resto del sistema manteniendo un caudal constante evitando así la elevación de caudal y carga.

El tanque estará ubicado al inicio de todo el sistema de tratamiento conectado directamente a las cuatro clorinadoras en donde el agua residual será impulsada al tanque de homogenizado por una serie de bombas.

Para dar inicio al dimensionamiento del tanque es necesario calcular el volumen del tanque, para esto se tomó la medida de cuánta agua residual es producida por día, para esto se midió el caudal en un día normal de producción, teniendo en cuenta que la cantidad de agua que entra por cada ciclo en la clorinadora es de 1,5m³ y

⁴³ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de agua. En: Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá (1995), p 5.

teniendo en cuenta que al terminar el proceso se cuenta con una cantidad de agua residual muy próxima a 1,5 por lo cual se tomó como nulo el porcentaje de pérdida de efluente en el proceso de clorinación, dando así un caudal diario de 24 m³ de efluente a tratar, teniendo el valor del caudal promedio se calculó el volumen del tanque en la **Ecuación 11**.

Ecuación 11. Volumen tanque homogeneizador

$$V_T = V_D + (V_D * F_S)$$

Donde

V_D : Volumen disponible

F_S : Factor de seguridad

V_T : Volumen del tanque

Para el factor de seguridad se tomó un valor del 15%⁴⁴ del volumen disponible, esto con el fin de prevenir saturación en el tanque por aumento de caudal.

$$V_T = 24m^3 + (24m^3 * 0.15) = 27.6 m^3$$

Teniendo en cuenta que los compuestos que predominan en el efluente son iones cloruros y que en estos predominan una de las sales más corrosivas, es preciso seleccionar el material adecuado de tal forma que no se oxide o en su defecto que retrase su degeneración paulatinamente, realizando la respectiva revisión bibliográfica se seleccionó que el material ideal será el de acero al carbón 316 ya que la clave para que este material sea el perfecto es el contenido ideal de molibdeno, una aleación que mejora drásticamente la resistencia a la corrosión,⁴⁵ especialmente para los ambientes más salinos o expuestos al cloruro.

Para determinar el diámetro del tanque se tuvo en cuenta la relación h/D y el valor teórico del mismo como se muestra en la **Ecuación 12**.

Ecuación 12. Volumen de un cilindro.

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

Teniendo en cuenta que la relación h/D es igual 1,5 se deja la **Ecuación 12** en términos de diámetro.

⁴⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales- teoría y principios de diseño. Bogotá D.C, 1999, p1232. Trabajo de grado. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito.

⁴⁵ RELIANCE FOUNDRY. Acero inoxidable 304 versus acero inoxidable 316. {en línea}. {25 de Octubre 2017}. Disponible en: <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es#gref>

Ecuación 13.
Diámetro tanque
homogeneizador

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_c}{1,5 * \pi}}$$

Reemplazando los datos del volumen del tanque teórico y la relación h/D se obtiene el resultado como se muestra a continuación.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 27,6 m^3}{1,5 * \pi}} = 2,86 m$$

Así mismo para el cálculo de la altura es necesario el diámetro y la relación h/D=1.5 como se muestra en la **Ecuación 14.**

Ecuación 14.
Altura del tanque
homogeneizador
 $h = D * 1,5$

Reemplazando se obtuvo:

$$h = 2,86 m * 1,5 = 4,292 m$$

El tanque cuenta con un sistema de agitación el cual es necesario para llevar a cabo su correcto funcionamiento, por tanto, las dimensiones de este se harán para un tanque con diámetro de 2,86m y altura de 4,29m, las ecuaciones de diseño que se muestran a continuación fueron tomadas de la bibliografía consultada⁴⁶.

Teniendo en cuenta la relación de diámetro:

$$\frac{2,86 m}{d} = 3$$

Despejando el diámetro obtenemos un valor de $d = 0,953m$, así mismo y con el valor hallado de d podemos hallar la altura del agitador con la siguiente relación:

$$\frac{h}{d} = 1$$

⁴⁶ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de agua. En: Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá (1995), p 52-56.

Reemplazando:

$$h = 0,953m * 1 = 0,953m$$

Obtuvimos una altura de 0,953m respecto al agitador que tendrá el tanque. En cuanto a la longitud de la paleta se halló de la siguiente manera:

Ecuación 15. Longitud de la paleta del homogeneizador.

$$r = \frac{d}{4}$$

Reemplazando

$$r = \frac{0,953 m}{4} = 0,238 m$$

Así mismo el diámetro del disco central se calculó de la siguiente manera:

Ecuación 16. Diámetro del disco central del homogeneizador.

$$S = \frac{D}{4}$$

Reemplazando:

$$S = \frac{2,86 m}{4} = 0,715 m$$

Teniendo en mente que el tanque de homogenizado cuenta con un agitador de naturaleza mecánica es preciso hallar la potencia de rotación que necesita, para esto se utilizó la **Ecuación 17** obtenida de la respectiva revisión bibliográfica.⁴⁷

Ecuación 17. Potencia necesaria del agitador.

$$P = K * \rho * N^3 * d^5$$

En donde:

K: Constante de impulsor equivalente a 6,30

ρ: Densidad del agua

N: Velocidad de rotación

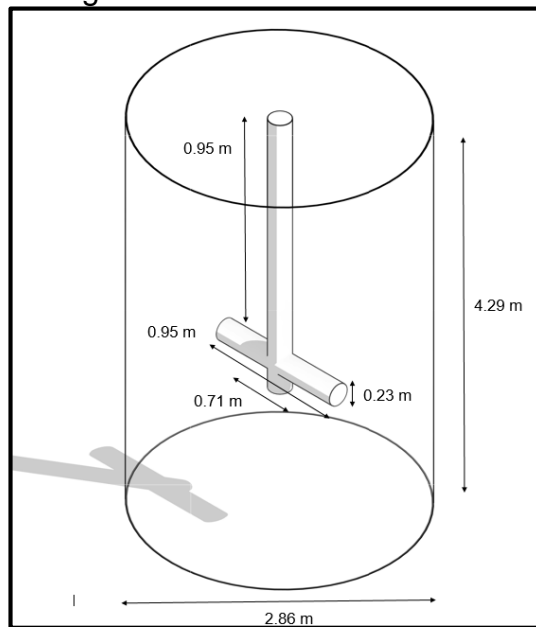
d: Diámetro del agitador

⁴⁷ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de agua. En: Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá (1995), p 5.

$$P = (6,30) * \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * (1,67 rpm)^3 * (0,953)^5 = 23065,05 W = 23,06 kW$$

De acuerdo a las dimensiones calculadas anteriormente fue posible realizar el diseño del tanque de homogenizado. Se debe tener en cuenta que en la planta de producción se tendrá solo un tanque esto debido a que este es suficiente para tratar el caudal necesario de producción diario en las clorinadoras, el respectivo diseño es expuesto en la **Figura 29**.

Figura 29. Diseño tanque homogeneizador.



Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Unidad de pH. Para la unidad de pH se hará por medio de una neutralización tipo batch, debido a que el flujo del efluente a tratar es bajo. En la unidad se contarán con sensores de registro y dosificación de pH en el mismo tanque de homogenizado, el cual cuenta con una serie de bombas que impulsan el hidróxido de sodio dentro del mismo y junto con la velocidad de rotación del impulsor se logrará la distribución óptima del neutralizante, hasta conseguir que el efluente se encuentre en el pH óptimo.⁴⁸

⁴⁸ QUEVEDO ROMERO, Emmanuel. Diagnóstico del proceso de tratamiento de aguas residuales de la Planta Centenario. México, 2007, 54p. Trabajo de grado (Ingeniero ambiental). Universidad De Quintana Roo. División de Ciencias e Ingeniería.

4.2.3 Clarificador. El clarificador es un tanque de sedimentación el cual cumple con la remoción de parámetros como el DQO, DBO y turbidez principalmente. El proceso llevado en el tanque es el de coagulación y floculación. Es preciso que el diseño del clarificador sea el indicado al igual que la selección de los reactivos que serán utilizados para el proceso y así poder garantizar un proceso de coagulación y floculación eficiente.

En cuanto al diseño del tanque se hizo de forma similar al tanque de homogenizado, iniciando con el volumen del tanque en el cual se tuvo en cuenta el mismo factor de seguridad del 15%.

Ecuación 18.
Volumen tanque
homogeneizador.

$$V_T = V_D + (V_D * F_S)$$

Donde:

V_D : Volumen disponible

F_S : Factor de seguridad

V_T : Volumen del tanque

Se tomó como volumen disponible el mismo caudal que ingresa en el tanque de homogenizado ya que esta es la producción aproximada diaria del efluente residual.

$$V_T = 24m^3 + (24m^3 * 0,15) = 27,6 m^3$$

Para el cálculo del valor del diámetro se tiene en cuenta la relación de h/D y la ecuación del volumen de un cilindro, esta expresión se deja en términos del diámetro.

Ecuación 19. Diámetro del
tanque clarificador.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 27,6 m^3}{1,5 * \pi}} = 2,86 m$$

De igual forma se halló la altura del clarificador de la siguiente manera:

Ecuación 20. Altura del
tanque clarificador.

$$h = 2,86 m * 1,5 = 4,292 m$$

La diferencia del tanque clarificador respecto al de homogenizado es la parte inferior de este el cual es cónica, esta sección cumple con la correcta sedimentación de los sólidos presentes en el efluente a tratar; por lo general en los tanques clarificadores

se toma la sección cónica como un triángulo rectángulo el cual tiene un ángulo de 45° respecto a la horizontal.⁴⁹

Para las especificaciones de la sección cónica se tendrá en cuenta el diámetro del clarificador aplicando la **Ecuación 21**.

Ecuación 21.
Dimensiones la sección cónica

$$\tan \beta = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$$

En donde asumimos que el cateto opuesto es la altura del cono, el adyacente es el radio de este, que será el mismo del clarificador y $\beta = 45^\circ$ el cual equivale a 0,79 radianes.

Despejando y reemplazando la altura del sedimentador se obtuvo:

$$h_{cono} = (\tan 0,79) * \left(\frac{2,86m}{2}\right) = 1,44 m$$

Para hallar el volumen del cono se parte de la **Ecuación 22**:

Ecuación 22. Volumen de un cono.

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h_{cono}$$

$$V = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{2,86}{2}\right)^2 (1,44) = 3,0836 m^3$$

De acuerdo a lo anterior para el cálculo de la altura del cilindro y la altura total del tanque clarificador se inicia con saber la diferencia entre el volumen del tanque respecto a la del cono.

$$V_{cilindro} = V_{tanque} - V_{cono}$$

Reemplazando obtenemos:

$$V_{cilindro} = 27,6 m^3 - 3,08 m^3 = 24,52 m^3$$

⁴⁹ ACOSTA DIAZ, Diego Iván; LAVERDE ROJAS, Daniel Felipe. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa transportadora escolar Camargo Hermanos SA–Tech SA. Bogotá, 2017, 161 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

Teniendo ya el volumen del cilindro con la **Ecuación 23** Se halló la altura de este:

Ecuación 23. Volumen de un cilindro.

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

Despejando y reemplazando obtuvimos:

$$h_{cilindro} = \frac{4 * 24,52 m^3}{\pi * (2,86m)^2} = 3,816 m$$

De acuerdo al cálculo de la altura del cilindro y teniendo en cuenta que se cuenta con el valor de la altura del cono se halló la altura total del tanque clarificador.

Ecuación 24. Altura total del tanque clarificador.

$$h_{total} = h_{cilindro} + h_{cono}$$

$$h_{total} = 3,816 m + 1,44 m = 5,256m$$

Teniendo en cuenta que el tanque cuenta con un agitador de naturaleza mecánica es preciso hallar la potencia de rotación que necesita, para esto se utilizó la **Ecuación 25** obtenida de la respectiva revisión bibliográfica.⁵⁰

Ecuación 25.
Potencia necesaria del agitador.

$$P = K * \rho * N^3 * d^5$$

En donde:

K : Constante de impulsor equivalente a 6,30

ρ : Densidad del agua

N : Velocidad de rotación (1,67 rpm)

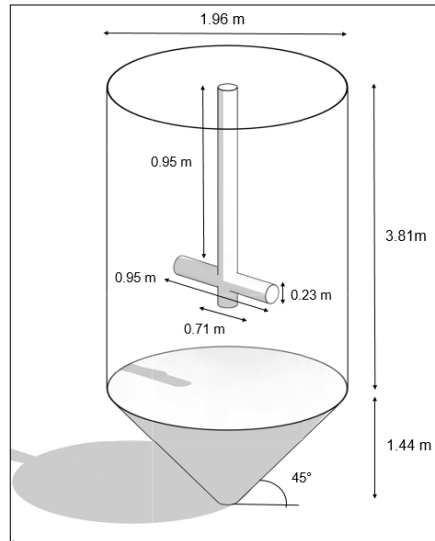
d : Diámetro del agitador

$$P = (6,30) * \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * (1,67)^3 * (0,953)^5 = 23065,05 W = 23,06 kW$$

Teniendo ya finalizado los cálculos de diseño necesarios para el tanque clarificador, se pueden mostrar las dimensiones de este en la **Figura 30**.

⁵⁰ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de agua. En: Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá (1995), p 60.

Figura 30. Diseño tanque clarificador.



Fuente: elaboración propia.

4.2.4 Filtros multimedia. Para llevar a cabo el diseño del filtro se tuvieron en cuenta las principales variables que con lleva realizar un filtro multimedia o multilecho como lo es en este caso, esto para que el filtro tenga una velocidad de filtración adecuada y pueda retener el floc removido.

El diseño de un filtro debe cumplir con la selección óptima del lecho filtrante, profundidad de este, tasa de filtración y la pérdida de carga disponible.⁵¹

Para cada uno de los lechos filtrantes se deben tener en cuenta la cantidad óptima de medio filtrante para así asegurar una alta tasa de filtrado respecto al agua a tratar, para ello en la **Tabla 36** se muestran los datos de diseño expresados en seis lechos filtrantes: Grava, gravilla, arena, carbón activado, antracita y zeolita.

⁵¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de agua. En: Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá (1995), p 182-183.

Tabla 36. Intervalos de diseño de los medios filtrantes.

Medio filtrante	Características	Valor		
		Intervalo	Típico	Promedio
Grava	Profundidad (cm)	15-60	45	37,5
	Tamaño efectivo (mm)	2,36-25	--	13,68
	Coefficiente de uniformidad	--	--	--
Arena	Profundidad (cm)	20-40	25	30
	Tamaño efectivo (mm)	0,4-0,8	0,5	0,6
	Coefficiente de uniformidad	1,3-1,8	1,6	1,55
Carbón activado	Profundidad (cm)	20-50	40	35
	Tamaño efectivo (mm)	1,3-2	1,6	1,65
	Coefficiente de uniformidad	1,5-1,8	1,6	1,65
Antracita	Profundidad (cm)	20-50	40	35
	Tamaño efectivo (mm)	1-2	1,4	1,5
	Coefficiente de uniformidad	1,4-1,8	1,6	1,5
Zeolita	Profundidad (cm)	76-121	90	98
	Tamaño efectivo (mm)	0,95-1,1	0,99	1,025
	Coefficiente de uniformidad	1,40-1,43	1,40	1,41

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

Para cada uno de los lechos planteados se halló su profundidad necesaria, tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad esto para poder hallar las dimensiones necesarias del filtro. Teniendo en cuenta la **Tabla 36** se tomará el promedio de cada una de las características de los medios filtrantes como se muestra a continuación:

- Grava:

$$Profundidad = \frac{0,15 \text{ m} + 0,60 \text{ m}}{2} = 0,375 \text{ m}$$

$$Tamaño \text{ efectivo} = \frac{2,36 \text{ mm} + 25 \text{ mm}}{2} = 13,68 \text{ mm}$$

$$Coeficiente \text{ de uniformidad} = \frac{1,2 + 1,6}{2} = 1,4$$

- Arena:

$$Profundidad = \frac{0,20 \text{ m} + 0,40 \text{ m}}{2} = 0,3 \text{ m}$$

$$Tamaño \text{ efectivo} = \frac{0,4 \text{ mm} + 0,8 \text{ mm}}{2} = 0,6 \text{ mm}$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{1,3 + 1,8}{2} = 1,55$$

- Carbón activado:

$$\text{Profundidad} = \frac{0,20 \text{ m} + 0,50 \text{ m}}{2} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Tamaño efectivo} = \frac{1,3 \text{ mm} + 2 \text{ mm}}{2} = 1,65 \text{ mm}$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{1,5 + 1,8}{2} = 1,65$$

- Antracita:

$$\text{Profundidad} = \frac{0,20 \text{ m} + 0,50 \text{ m}}{2} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Tamaño efectivo} = \frac{1 \text{ mm} + 2 \text{ mm}}{2} = 1,5 \text{ mm}$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{1,4 + 1,8}{2} = 1,5$$

- Zeolita:

$$\text{Profundidad} = \frac{0,76 \text{ m} + 1,21 \text{ m}}{2} = 0,98 \text{ m}$$

$$\text{Tamaño efectivo} = \frac{0,95 \text{ mm} + 1,1 \text{ mm}}{2} = 1,025 \text{ mm}$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{1,4 + 1,43}{2} = 1,415$$

4.2.4.1 Lecho combinado. Teniendo en cuenta que se hará la implementación de un filtro multimedio de seis materiales filtrantes y posterior al cálculo de las especificaciones de cada uno de ellos se quiere finalizar el diseño con las especificaciones que se necesitan para llevar a cabo el lecho combinado, esto se logra mediante la suma de las profundidades de cada uno de los medios filtrantes como se muestra en la **Ecuación 26**.

Ecuación 26. Profundidad del lecho combinado.

$$\text{Profundidad del lecho combinado} = 2 * (0,375 \text{ m}) + 0,3 \text{ m} + 2 * (0,35 \text{ m}) + 0,98 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad de lecho combinado} = 2,73 \text{ m}$$

Para hallar el valor del área de filtración se hace por medio de una relación del caudal a tratar entre tasa de filtración como se muestra en la **Ecuación 27**.

Ecuación 27. Área de filtración del lecho combinado.

$$A_f = \frac{Q}{TF}$$

Donde:

A_f : Área de filtración en m^2

Q : Caudal en m^3 / s

TF : Tasa de filtración granular

La tasa de filtración corresponde aproximadamente a 120 m/d y el caudal corresponde a la cantidad de agua a tratar, reemplazando logramos obtener el área de filtración:

$$A_f = \frac{19,2 m^3 / d}{120 m/d} = 0,16 m^2$$

Para hallar el volumen del filtro multimedio se hará por medio de la siguiente ecuación

Ecuación 28. Volumen del filtro de lecho combinado

$$V_f = Area * altura$$

$$V_f = 0,16m^2 * 2,93 m = 0,4688 m^3$$

De igual forma para hallar el diámetro del lecho combinado se utilizó la relación D/h planteada para el tanque de homogeneizado y clarificar el cual es igual a 1,5.

Ecuación 29. Diámetro del filtro multimedio.

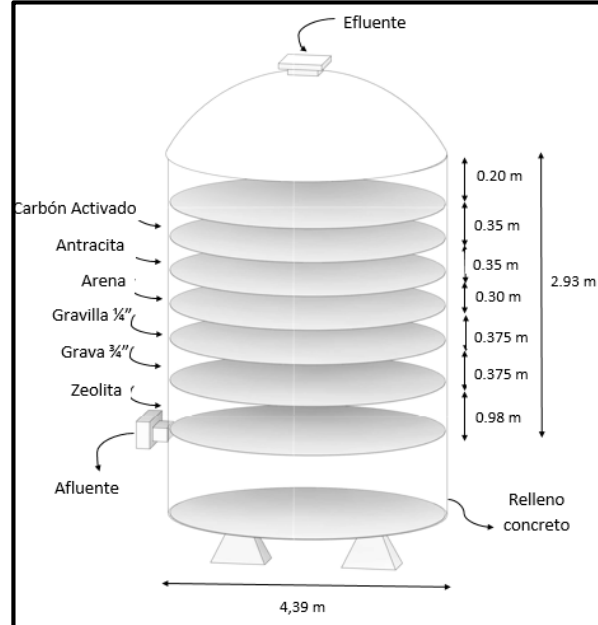
$$h = D * 1,5$$

Despejando y reemplazando se obtuvo:

$$D_f = 1,5 * 2,93 m = 4,39m$$

Contando ya con todas las especificaciones de diseño necesarias del lecho combinado se muestra en la **Figura 31** el diseño del filtro multimedio propuesto.

Figura 31. Diseño de filtro multimedio.



Fuente: elaboración propia.

4.3 DOSIFICACIONES

Los procesos de tratamientos de neutralización, coagulación y floculación, requieren de la utilización de reactivos, los cuales ya se determinó su efectividad en la experimentación llevada a nivel laboratorio. Teniendo en cuenta esto, se debe calcular la dosificación ideal para utilizar en el proceso a escala industrial con el fin de realizar el tratamiento del efluente residual para su reutilización.

En el tratamiento del agua residual del proceso de clorinación, será utilizado hidróxido de sodio, cloruro férrico y un polímero coagulante de referencia L-550A, de los cuales se realizará una dosificación a escala industrial, basada en el escalamiento previo de los equipos. Se debe tener en cuenta que, para el escalamiento a nivel industrial, es importante saber que de acuerdo al balance hídrico el caudal diario residual del proceso de clorinación es de aproximadamente 24 m³. Por último, se debe tomar en consideración que la empresa ETERNA S.A, realiza el tratamiento de sus aguas residuales al final de la jornada.

4.3.1 Hidróxido de sodio. Para el proceso de neutralización a nivel laboratorio se usó NaOH a una concentración del 10%, empleando un volumen de 25 mL para neutralizar 500 mL de efluente residual, siendo esta la dosificación óptima para llegar a un pH de 8.5, valor óptimo para llevar a cabo los procesos posteriores de coagulación y floculación.

$$X_{NaOH}(m^3) = 24 \cdot 10^6 \text{ mL} \left(\frac{25 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \right) = 1,2 \text{ m}^3$$

Para la empresa ETERNA S.A es más factible por facilidad operacional adquirir los reactivos en estado sólido, por lo cual se hace necesario determinar la cantidad necesaria para preparar la correspondiente solución y llevar a cabo el tratamiento del caudal residual y esto se hace a partir de la densidad del reactivo al 10% 1,11 kg/L.

$$X_{NaOH}(kg) = 1,2 m^3 \left(1,11 \frac{kg}{L}\right) \left(10^3 \frac{L}{m^3}\right) = 1332 kg NaOH$$

Conociendo la densidad del reactivo al 10% es 1,11 kg/L, se halla la concentración requerida de NaOH requerida para el proceso de neutralización de 24 m³ de efluente residual.

$$C_{NaOH} = 1200 \frac{L}{m^3} \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right) \left(\frac{1,11 kg}{L}\right) \left(\frac{1e^6 mg}{1 kg}\right) = 1 332 000 \frac{mg}{L} = 1 320 000 ppm$$

4.3.2 Cloruro férrico. En el proceso de coagulación a nivel laboratorio se utilizó FeCl₃ al 10%, en un volumen de 500 mL, fue necesario añadir 6 mL, esto con el fin de observar la desestabilización de las cargas en el agua residual.

$$X_{FeCl_3}(m^3) = 246 mL \left(\frac{6 mL}{500 mL}\right) \left(\frac{1 L}{1000 mL}\right) \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right) = 0,288 m^3$$

Para la empresa ETERNA S.A es más factible por facilidad operacional adquirir los reactivos en estado sólido, por lo cual se hace necesario determinar la cantidad necesaria para preparar la correspondiente solución y llevar a cabo el tratamiento del caudal residual, para lo que se hace necesario conocer la densidad del reactivo al 10%, 2,8 kg/L.

$$X_{FeCl_3}(kg) = 0,288 m^3 \left(2,8 \frac{kg}{L}\right) \left(10^3 \frac{L}{m^3}\right) = 806,4 kg FeCl_3$$

Conociendo la densidad del reactivo al 10% es 2,8 kg/L, se halla la concentración requerida de FeCl₃ requerida para el proceso de coagulación de 24 m³ de efluente residual.

$$C_{FeCl_3} = 288 \frac{L}{m^3} \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right) \left(\frac{2,8 kg}{L}\right) \left(\frac{1e^6 mg}{1 kg}\right) = 806 400 \frac{mg}{L} = 806 400 ppm$$

4.3.3 L-550A. En el proceso de floculación a nivel laboratorio se utilizó L-550A al 0,1%, en un volumen de 500 mL, fue necesario añadir 2 mL, esto con el fin de observar la formación de Floc.

$$X_{L-550A}(m^3) = 24 \cdot 10^6 \text{ mL} \left(\frac{2 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = 0,096 \text{ m}^3$$

Para la empresa ETERNA S.A es más factible por facilidad operacional adquirir los reactivos en estado sólido, por lo cual se hace necesario determinar la cantidad necesaria para preparar la correspondiente solución y llevar a cabo el tratamiento del caudal residual, para tal fin es necesario conocer la densidad del reactivo al 0,1%.

$$X_{L-550A}(\text{kg}) = 0,096 \text{ m}^3 \left(0,8 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \left(10^3 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) = 76,8 \text{ kg L} - 1550^a$$

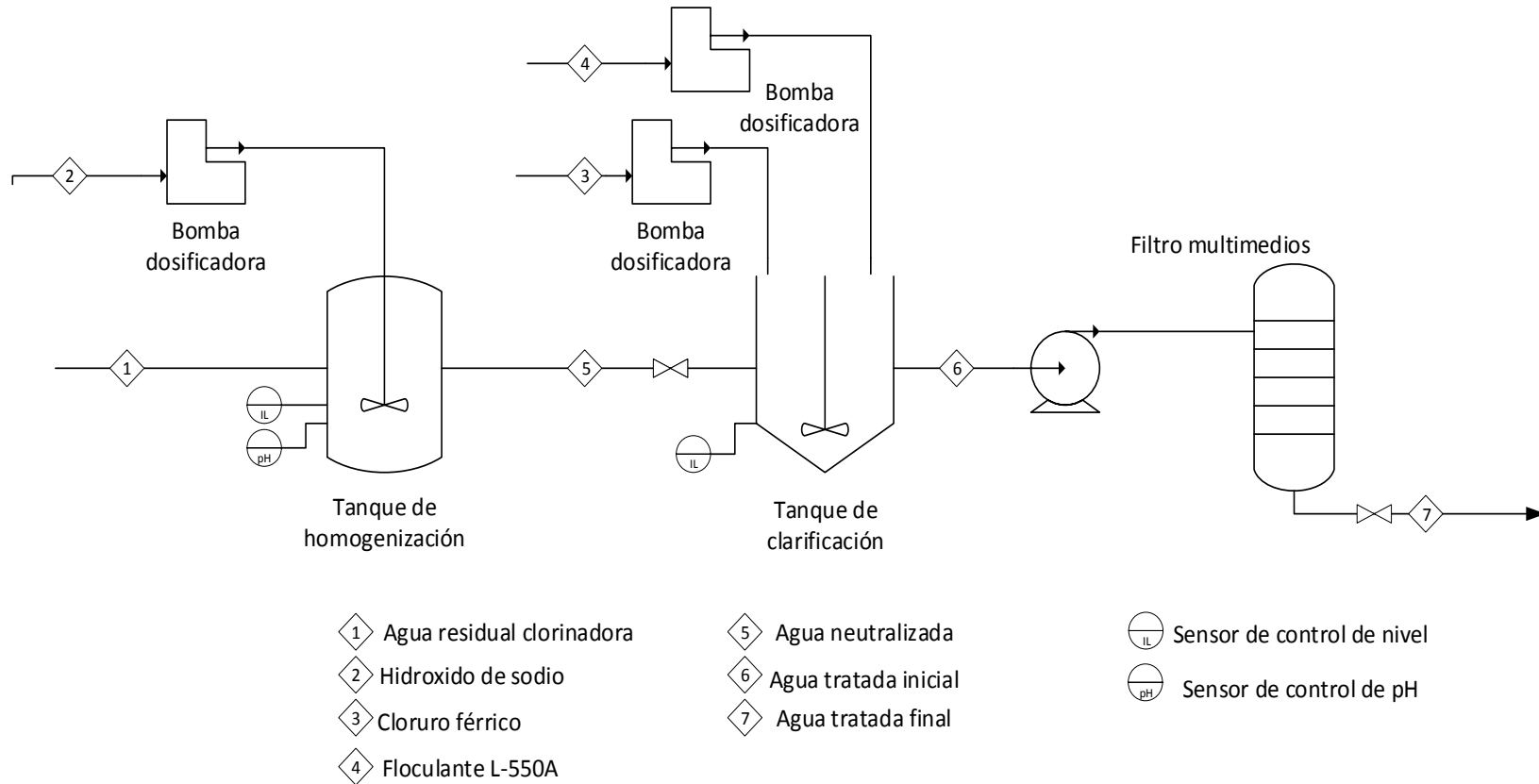
Conociendo la densidad del reactivo al 0,1% es 0.8 kg/L, se halla la concentración requerida de FeCl₃ requerida para el proceso de floculación de 24 m³ de efluente residual.

$$C_{L550A} = 96 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) \left(\frac{0,8 \text{ kg}}{\text{L}} \right) \left(\frac{1 \text{ e}^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} \right) = 76 \ 800 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 76 \ 800 \text{ pm}$$

4.4 UBICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

4.4.1 Diagrama PFD. En el diagrama PFD de la **Figura 32**, se observa más claramente el montaje completo del proceso de tratamiento de aguas residuales para el proceso de clorinación.

Figura 32. Diagrama PFD de la alternativa seleccionada.



Fuente: elaboración propia.

5. ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se mostrará una estimación de costos para la implementación de la propuesta, se evaluarán los costos de inversión y operación para el completo desarrollo de la alternativa seleccionada en donde se incluirá gastos en mano de obra, coste de materias primas y servicios. Con los datos obtenidos en este capítulo se puede tener un aproximado de los costos totales para la puesta en marcha de la propuesta de mejora del agua residual del clorinado, para así, en un futuro evaluar el factor costo-beneficio que tendrá la empresa con la alternativa.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

En los costos de inversión se tendrá en cuenta en primer lugar el valor de cada uno de los equipos requeridos para la implementación de la alternativa, este valor va directamente ligado al área y volumen calculados en el capítulo anterior.

A continuación, se mostrará el costo unitario por cada equipo necesario para el correcto uso de la alternativa seleccionada, se contó con la asesoría de la Aguas sistemas y soluciones integrales S.A.

Tabla 37. Costos de equipos.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (COP)	COSTO TOTAL (\$)
Tanque homogeneizador	1	35'000.000	35'000.000
Tanque clarificador	1	35'000.000	35'000.000
Sistema de filtración	1	7'200.000	7'200.000
Sistema ultrafiltración	1	28'000.000	28'000.000
Bombas dosificadoras	3	2'500.000	7'500.000
Sistema de bombeo	1	15'000.000	15'000.000
TOTAL			127'700.000

Fuente: elaboración propia, con base en AGUAS SISTEMAS Y SOLUCIONES INTEGRALES S.A.

* Nota: Ver **ANEXO N**

5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

En los costos de operación es donde se refleja el mayor porcentaje de viabilidad respecto a la alternativa seleccionada, ya que a partir de estos la empresa evaluará los beneficios obtenidos a partir de la inversión e implementación del sistema. Estos costos incluyen valores de materias primas, insumos, servicios adicionales como el gasto de energía y la mano de obra necesaria para la operación del sistema.

5.2.1 Materias Primas. Para determinar los costos de materias primas se debe tener en cuenta las dosificaciones requeridas para cada uno de los equipos, teniendo las dosificaciones el cual se determinaron anteriormente, se llevó a cabo la cotización de la cantidad necesaria de materias primas. A continuación, se mostrará los costos de materias primas necesarias para el funcionamiento del sistema de tratamiento mensual y anual.

Tabla 38. Costos de reactivos.

Reactivo	Costo (COP/kg)	Concentración (ppm)	Consumo (kg/mes)	Costo (COP/mes)	Costo (COP/anual)
Hidróxido de sodio	3.600	1 320 000	72,6	261.360	3'136.320
Cloruro férrico	4.995	806 400	69,1	345.154	4'141.848
L-550A	19.680	76 800	2,3	45.262	543.144
TOTAL					7'821.312

Fuente: elaboración propia, con base en LIPESA S.A.

*Nota: Ver **ANEXO M**

5.2.2 Servicios energéticos. Para el consumo de energía se debe tener en cuenta la cantidad de bombas que se utilizaran en la propuesta seleccionada, se contará con un total de tres bombas dosificadoras para cada uno de los reactivos a utilizar en el transcurso del tratamiento al efluente y una bomba centrífuga con el fin de impulsar el efluente desde el tanque de clorinación hasta el tanque de homogenizado. En la **Tabla 39** se muestra los consumos energéticos de cada uno de las bombas utilizadas al igual que la potencia:

Tabla 39. Costos de servicios.

Equipo	Cantidad	Consumo (kW/h)	Consumo (kW/año)	Tarifa (COP/kWh)	Costo total anual (COP)
Bomba dosificadora	3	0,11	963,6	473,57	456.332
Sistema de bombeo	1	0,288	840,96	473,57	398.253
Total					854.585

Fuente: elaboración propia, con base en AGUA SISTEMAS Y SOLUCIONES INTEGRALES S.A.

* Nota: Cálculos pertinentes **ANEXO O**. Para dar inicio a realizar los cálculos correspondientes del balance de energía que justifica el consumo de las bombas, se tomaron las especificaciones de la prueba piloto realizada en la experimentación.

En cuanto a las tuberías se propuso material PVC con un diámetro nominal de 1" ya que es un material que resiste las características fisicoquímicas que presenta el efluente como

lo son, su alta acidez, para los accesorios se tomaron válvulas de globo y un codo a la entrada del tanque homogeneizador con un ángulo de inclinación de 90°.

Para datos la elección del diámetro nominal de acuerdo al caudal como y el diámetro interior se utilizó los datos que se encuentra en el **ANEXO P**, en cuanto al parámetros de rugosidad para las pérdidas de carga el **ANEXO Q**.

5.2.3 Mano de obra. La alternativa de tratamiento seleccionada debe contar con un operario a tiempo completo encargado del correcto y óptimo funcionamiento de la propuesta seleccionada para la reutilización del efluente. Se deben tener en cuenta cada uno de los gastos que influye tener un operario en la empresa como se muestra en la **Tabla 40**. En donde se calcula el total de los gastos de nómina del operario incluyendo las prestaciones sociales y seguridad social acorde con la normatividad actual.

Tabla 40. Mano de obra para un operario.

ÍTEM	VALOR MENSUAL (COP)
Smmlv	828.116
Auxilio de transporte	97.032
Salud EPS	70.390
Pensión	99.374
Riesgos profesionales (ARL)	4.323
Caja de compensación	33.125
Cesantías	77.096
Intereses de cesantías	9.251
Prima de servicios	77.096
TOTAL	1'295.803

Fuente: Symplifica [sitio web]. [Consultado: 20 de octubre 2019]. Disponible en: <https://symplifica.com/salario-minimo-2019>.

De acuerdo con la información dada en la **Tabla 40** la nómina mensual de un operario costaría a la empresa la suma \$1'295.803 lo que equivale a \$15'549.636 anualmente.

5.3 COSTOS TOTALES

Los costos totales equivalen a la suma de los costos desarrollados anteriormente, es decir costos de inversión y operativos (Materias primas, servicios y mano de obra), aquellos que se deben tener en cuenta como inversión anual, teniendo en cuenta que la inversión e instalación de los equipos solo se asumen en el primer año.

Según lo anterior los costos totales del primer año a la implementación de la alternativa se pueden detallar en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Costos totales primer año

COSTOS	VALOR (COP/anual)
Costos de inversión equipos	127'700.000
Costos operativos de servicios	854.585
Costos operativos de materia prima	7'821.312
Costos operativos de mano de obra	15'549.636
TOTAL	151'925.533

Fuente: elaboración propia.

De igual forma los costos correspondientes a los siguientes años fueron, excluyendo la inversión de los equipos ya que estos no cambian en su estructura dando un total de costos para el segundo año de \$ 24'225.533.

Finalmente, es importante aclarar que, para el cálculo de los costos y el desarrollo del objetivo, no es pertinente conocer el valor del retorno de inversión, ni otro tipo de indicadores económicos, al no considerarse relevantes en el desarrollo del presente proyecto.

6. CONCLUSIONES

- La empresa ETERNA S.A, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, generando un consumo diario de las mismas de 70.5 m³ el cual se le realiza el tratamiento adecuado para el cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica que permitió determinar que los parámetros importantes a analizar que afectan directamente el proceso de clorinación son dureza total, conductividad, cloruros, DBO, DQO, pH y turbiedad. Al realizar la caracterización del agua residual del proceso de clorinación se rectificó el incumplimiento de la normatividad para la reutilización de efluentes residuales Resolución 1207 de 2014 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como ente regulador.
- La alternativa de tratamiento para reutilización fue establecida de manera bibliográfica y teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa, los cuales se resaltan como importantes los factores técnicos y el factor económico. Para definir los procesos de tratamiento a utilizar, se realizaron matrices de selección que evaluaron la viabilidad operativa, económica y técnica para disminuir los parámetros críticos, la cuales arrojaron resultados favorables para la implementación de procesos de neutralización, seguido de proceso de coagulación, floculación y filtración con carbón activado, grava, zeolita y arena, los cuales se utilizaron para la disminución de parámetros como DBO, DQO, turbidez y pH. De igual manera a través de las matrices se determinó que el proceso de tratamiento más efectivo para la reducción de los parámetros críticos restantes fueron las membranas de ultrafiltración. Fueron evaluados los reactivos más afines el proceso, determinando de manera experimental a través de procesos de flotación y burbujeo, los óptimos mediante las dosificaciones utilizadas de cloruro férrico y por la formación de floc el floculante L-550A no iónico. Al no obtenerse los resultados esperados para la disminución de parámetros como dureza total, conductividad y cloruros, se propone el uso de medios filtrantes mencionados anteriormente. Todos los procesos anteriormente mencionados se implementaron en la etapa de experimentación y con su respectiva caracterización, se concluye que da cumplimiento a la normatividad utilizada para el proceso de reutilización con parámetros como el pH.
- En cuanto al diseño de equipos se tuvo en cuenta el caudal de 24 m³/día, se establecieron los equipos necesarios a la alternativa propuesta teniendo en cuenta la experimentación llevada a cabo en el laboratorio. Se determinó en primera estancia el porcentaje de recuperación al implementar en su totalidad los tratamientos propuestos el cual fue de un 62,6% de efluente recuperado ya tratado, lo que indica un porcentaje aproximado de 37,3% que será abastecido de efluente proveniente del acueducto, posterior a esto se realizó el dimensionamiento de cada uno de los equipos necesarios iniciando con un tanque homogeneizador el cual también llevara a cabo el proceso de neutralizado, el clarificador para el proceso de sedimentación de sólidos y el filtro multimedia, para cada uno de los tratamientos evaluados se halló las dosificaciones pertinentes.

- Para la implementación de la alternativa se evaluaron costos de inversión en el cual se incluyeron el valor de cada uno de los equipos dimensionados anteriormente en donde se incluyeron bombas dosificadoras y centrifugas necesarias para el correcto funcionamiento de la alternativa, posterior a los costos de inversión se llevaron a cabo los de operación el cual abarcan las materias primas, servicios y mano obra finalmente se obtuvo unos costos totales en el primer año de \$151'925.533 y \$ 24'225.533 que corresponde al costo de operativo de los siguientes años.

7. RECOMENDACIONES

- Debido a la facilidad del cambio del pH en el proceso de coagulación y floculación, se debe tener un control constante, mediante un sistema de dosificación y control, de igual manera para los niveles del tanque homogeneizador y clarificador.
- Para obtener un agua de mayor grado pureza y refinamiento, con características similares al agua potable, se recomienda un proceso de osmosis inversa con el fin de reducir de manera considerable parámetros como dureza total y conductividad, se debe tener en cuenta que este tipo de procesos tiene un costo económico considerablemente mayor a los procesos propuestos en el proyecto.
- Para garantizar que los niveles de cloruros en el agua residual se encuentren dentro de los rangos recomendables para su ingreso a las membranas de ultrafiltración se deben realizar caracterizaciones periódicas después de la etapa de filtración para llevar un control de los mismos.
- Evaluar las opciones de retro lavado y regeneración para los filtros multimedio y membranas de ultrafiltración respectivamente, para la regeneración de las membranas escogidas para el proceso de recomienda NaCl.
- Analizar la posibilidad de reutilizar el agua del proceso de clorinación, en otras fases del proceso de producción de guantes látex, tales como en procesos de lavado de moldes y además, considerar su posible reutilización en diferentes áreas de la planta de producción o para consumo en labores domésticas como uso de baños y lavado de equipos.
- Se recomienda solicitar asesoría de un proveedor para el diseño de la unidad de ultrafiltración, con el fin de garantizar un diseño óptimo y eficiente en cuestión de selectividad al tipo de membrana y especificaciones a fin del efluente a tratar.
- Establecer y afinar los tiempos de retención en los tratamientos de homogeneizado y clarificación mediante implementación de la alternativa a escala industrial.
- Debido a la facilidad del cambio del pH en el proceso de coagulación y floculación, se debe tener un control constante, mediante un sistema de dosificación, de igual manera para los niveles del tanque homogeneizador y clarificador.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Diego. LAVERDE, Daniel Felipe. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa transportadora escolar Camargo Hermanos S.A-Tech S.A. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Bogotá D, C: Fundación universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2017.

AGUILAR, Ervin Noé. Diseño e implementación de un sistema de recirculación de agua para reusarla en el área de desmolde y tanques de lixiviación (leaching), como parte del proceso de fabricación de guantes de látex. Guatemala, 2015, 135p. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

AVILA, Ivan Ricardo. MORENO, Mario Arturo. Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del caso urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima. Especialización en gerencia ambiental. Bogotá D, C: Universidad Libre. Facultad de ingenierías. Institución de posgrados. 2016.

BARBOSA, Buitrago; MARLEY, July. Extracción de cloruros de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales a través de procesos mecánicos. En: Revista Palmas. Vol. 38. No 4. (oct-dic 2017) p.108-113

BERNAL MÁRQUEZ, F. J., et al. Técnicas de Prevención de la Generación de Suelos Contaminados: La Gestión de Residuos Peligrosos. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 2000.

BULLA, Laura Marcela. TORRES, Elsa Natalia. Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa de lácteos IBEL. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá D,C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2019.

CASSON, Leonard; BESS, Jim. Conversion to on-site sodium hypochlorite generation: water and wastewater applications. New York, CRC Press, 2002. p. 100

CHEREMISINOFF, Paul N. Handbook of water and wastewater treatment technology. Routledge: Taylor & Francis, 1995. 40 p.

CHIRUCHI, Juan, et al. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Montevideo: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 1996.174p.

COMPARATIVA DE AMPLIACIÓN E.D.A.R. Anejo A Membranas (Ultrafiltración). {en línea}. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4432/Anejo%20A%20Membranas.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS. Descriptores geotécnicos (3): granulometría y parámetros derivados. {en línea}. {1 de Enero 2013}. Disponible en: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-3-granulometria-y-parametros-derivados/>

FERNANDEZ, Antonio. Degradación anaerobia. Tratamientos avanzados de aguas industriales. Universidad de Alcalá. REMTAVARES. p. 36.

FORERO, J.E. DIAZ, J. BLANDÓN, V.R. Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. Colombia: Instituto Colombiano del Petróleo. 1999. p. 68.

FUNDACIÓN AGUAE. Consumo hídrico estándar durante un día [infografía]. España. 2018. [Consultado en 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/si-reducimos-nuestras-duchas-5-minutos-ahorramos-100-litros-agua>

GALVIS GONZALEZ, Nubia Yanneth. Ensayos de Tratabilidad del Agua, una herramienta concluyente para el Diseño de Plantas de Potabilización. Estudio de caso Acueducto Regional de Occidente, Anserma (Caldas). Manizales, 2014, p. 115. Trabajo de grado (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente) Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas.

GALVÁN, José L.; CONTRERAS, Raúl E, et. al. Evaluación de cal, sulfato e hidroxocloruro de aluminio en la coagulación-floculación del lixiviado del relleno sanitario de poza rica, Veracruz. En: Avances de ciencias e Ingeniería. Vol: 4 No. 3 (Jul-sept, 2013) p. 1-10.

GONZALES-CASTELLANOS, Roberto. Principios básicos de escalado. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Editorial universitaria del Ministerio de Educación: CUBA. 2000. p. 15.

GOOGLE MAPS. Mapa de Bogotá D.C. {en línea}. {6 de Junio 2019} Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Eterna+S.A./@4.640306,-74.1331728,13.71z/data=!4m8!1m2!2m1!1sUbicaci%C3%B3n+satelital+de+la+planta+de+producci%C3%B3n+de+ETERNA+S.A!3m4!1s0x8e3f9bfa71439dcf:0x719346eb34dd643b!8m2!3d4.6373351!4d-74.1162302>.

GUERRERO, Sánchez; DE LAS NIEVES, Gabriel. Técnicas participativas para la planeación. Fundación ICA AC, México, 2003. Disponible en: <https://eloisacadenas.files.wordpress.com/2017/03/sc3a1nchez-guerrero-tecnicas-participativas-para-la-planeacion.pdf>.

HUERTA, Sergio. Planta piloto de fermentaciones: Procesos de membrana. Iztapalapa: Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de biotecnología. 2016.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendido de normas para trabajos escrito. NTC-1486-6166. Bogota D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 P.

KARUNARATNE, Gamini. A Study to Reduce the Level of Chlorination of Examination Gloves While Keeping the Glove Moisture Content (Wet Glove) Low. Sri Lanka, 2007. Tesis Doctoral (Magister en ciencias en polímeros y tecnologías). University of Sri Jayewardenepura, Nugegoda. Facultad de ciencias aplicadas.

LEF INGENIEROS [Sitio Web]. Recuperación y valorización de aceites y grasas mediante flotación por aire disuelto. [Consultado: 27 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.lefingenieros.com/recuperacion-y-valorizacion-de-aceites-y-grasas-mediante-flotacion-por-aire-disuelto/>

LOSADA, Lis Manrique, et al. Estudio preliminar de la capacidad de remoción de iones inorgánicos de una zeolita sintética tipo faujasita. En: Revista Facultad de Ciencias Básicas, vol. 11, no 2 (Julio, 2015) p. 114-123.

MCCABE, Warren y SMITH, Julian. Operaciones básicas de ingeniería química. Mc-Graw Hill Company: Mexico. 2015. 7 ma edición. [Consultado en: 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/darwinvargasmantilla/operaciones-unitarias-en-ingenieria-quimica-7ma-edicion-warren-l-mc-cabefreelibrosorg>

NOVARSA. Sistemas de flotación por aire inducido. [Consultado: 27 de enero de 2020]. Disponible en: <http://novarsa.com/esp/productos.php?id=3>.

PINEDA, Julián. RANGEL, Henry. Estudio de factibilidad para la creación de una planta procesadora y comercializadora de látex de caucho natural en el municipio de Sabana de Torres (Santander). Bucaramanga, 2016. 192 p. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Santo Tomas. Facultad de Ingeniería Industrial.

RAMALHO, Rubens. Tipos de tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. México: Reverté, 1983. p.9.

RAMALHO, Rubens. Principio físico de la ósmosis inversa. Tratamientos de aguas residuales. México. Reverté. 1983. p.620.

RODRIGUEZ, Pablo. JÁCOME, Alfredo y SUAREZ, Joaquin. Filtración en membranas y osmosis inversa (FT-TER-005). Coruña: INDITEX, 2015. p. 3.

ROMERO, Marlin Julieth. DUARTE, Yuri Katherine. Flujo de contaminantes en estratos de grava en función de la permeabilidad. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2014.

Series Tyler. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. {en línea}. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08a.pdf>.

SUAREZ, Ana Maria. Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración para tratar agua permeada almacenada. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Bogotá D, C: Fundación Universidad de América. Programa de ingenierías. Facultad de ingeniería química. 2016.

VELASQUEZ, Javier Andres. OSUNA, Monica Nathalia. Diseño y construcción de un prototipo de clarificador de manto de lodos. Bogotá D, C: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2017.

ANEXOS

ANEXO A
RESOLUCIÓN 631 DEL 2015

RESOLUCIÓN 631 DE 2015

(marzo 17)

Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

EL MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE,

en uso de sus facultades legales y en especial las conferidas por el numeral 25 del artículo 5o de la Ley 99 de 1993 y el artículo 28 del Decreto número 3930 de 2010 modificado por el artículo 1o del Decreto número 4728 de 2010, y

CONSIDERANDO:

Que el artículo 49 de la Constitución Política establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado.

Que los artículos 79 y 80 de la Constitución Política establecen como obligación del Estado, proteger la diversidad e integridad del ambiente; fomentar la educación ambiental; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Que de acuerdo con el artículo 28 del Decreto número 3930 de 2010, modificado por el artículo 1o del Decreto número 4728 de 2010, corresponde al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, fijar los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir los vertimientos puntuales a las aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Que el artículo 5o de la Ley 99 de 1993 establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene entre sus funciones, regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir la contaminación hídrica en todo el territorio nacional (numerales 2 y 11).

En mérito de lo expuesto,

RESUELVE:

ARTÍCULO 8o. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, (ARD) DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES, COMERCIALES O DE SERVICIOS; Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD Y ARND) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES. Los parámetros físicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD), de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cumplir, serán los siguientes:

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD) DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD), Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 kg/DÍA DBO5
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO3-)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO2-)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L		Análisis y Reporte
Parámetro	Unidades	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD), Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD), Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS

		PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 kg/día DBO5	PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 kg/día DBO5
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	90,00	70,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L		Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Estilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones			
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0,50	0,50
Cloruros (Cl-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfatos (SO42-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfuros (S2-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Metales y Metaloides			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50

Hierro (Fe)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	0,02
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L		Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,50
Otros parámetros para análisis y reporte			
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

PARÁGRAFO. En los casos en que el vertimiento puntual de aguas residuales se realice en un cuerpo de agua superficial receptor o en un tramo del mismo, que tenga como destinación el uso del agua para consumo humano y doméstico, y pecuario la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en el vertimiento puntual de aguas residuales deberá ser menor o igual a 0,01 mg/L para aquellas actividades que lo tienen definido como de análisis y reporte.

ANEXO B
CARACTERIZACION INICIAL DEL AGUA RESIDUAL ALIMENTADA A LA FASE DE CLORINACION



Calle 26 No. 55 A-73 (Chaparral) • Teléfono: 765 8053 • Calle 120 No. 107

ANÁLISIS
MÉTODOS QUÍMICOS - FÍSICOQUÍMICOS
ANÁLISIS DE BACTERIAS
ANÁLISIS DE OROLOGÍAS
CONSERVACIÓN PARA ENFRIOS
CAPACIDAD DE FLOTACIÓN - SODIO
ABSORCIÓN DE CALOR

Reporte de Análisis Físicoquímico 20180110490

Página: 1 de 1

Razón Social: ETERNA S.A. Principal	N.I.T 860002274-0
Contacto: Dr. Rafael Moreno	Correo electrónico: N.A
Dirección: Carrera 66 No. 13-43	
Ciudad: Bogotá DC	Teléfono: 3762727 - 3153811827
Observaciones: N.A.	FAX: N.A.
Fecha Recepción: 2018-01-15	Fecha Análisis: 2018-01-15
	Fecha Reporte: 2018-01-19 20:11:16

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	5L	FRASCO PLÁSTICO	ENVIADA AL LABORATORIO	N.A.	N.A.	20.6	F.P. 1529/18

AGUA PLANTA LATEX (A0490)

ANÁLISIS	RESULTADOS	PARÁMETRO	MÉTODO ANÁLISIS
ALCALINIDAD TOTAL	17.00 mg/L CaCO ₃	200 mg/L CaCO ₃ Máx.	SM 2300-B
CALCIO	10.90 mg/L Ca	50 mg/L Ca Máx.	SM 3300-Ca-B
CLORO RESIDUAL LIBRE	1.31 mg/L Cl ₂	0.2 - 2.0 mg/L Cl ₂	SM 4500-Cl ₂ -D
CLORURO	13.60 mg/L Cl ⁻	250 mg/L Cl ⁻ Máx.	SM 4500-Cl ⁻ -E
COLOR	0 UPC	15 UPC Máx.	SM 2100-B
CONDUCTIVIDAD	93.8 µmhos/cm	1000 microsiemens/cm Máx.	SM 2510-B
DUREZA TOTAL	29.50 mg/L CaCO ₃	300 mg/L CaCO ₃ Máx.	SM 2340-C
HEMBRID TOTAL	0.01 mg/L Fe	0.3 mg/L Fe Máx.	SM 3500-Fe-B
MAGNESIO	0.97 mg/L Mg	30 mg/L Mg Máx.	SM 3500-Mg-B
pH (25°C)	6.97 Unidades de pH	6.5 - 8.0 Unidades de pH	SM 4500-H-B
SULFATO	0.60 mg/L SO ₄ ²⁻	250 mg/L SO ₄ ²⁻ Máx.	SM 4500-SO ₄ ²⁻ -E
TURBIDEZ	0.95 NTU	2 NTU Máx.	SM 2150-B

La muestra CUMPLE con la RESOLUCIÓN 21150207 para AGUA PARA CONSUMO HUMANO en los análisis realizados.

FIN DEL REPORTE

Revisó:

Rafael Moreno Ariza
COORDINACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Aprobó:

Diego Raúl Galindo Acosta
DIRECCIÓN TÉCNICA

VERIFIQUE LA AUTENTICIDAD DEL RESULTADO CON EL LABORATORIO. RESULTADO VALIDO DE LA MUESTRA ANALIZADA.
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE NULAB

Carrera 16 No. 55 A-73 (Chaparral) • Teléfono: 765 8053 • Calle 120 No. 107 • Bogotá D.C., Colombia
www.nulab.com.co • Email: info@nulab.com.co

ANEXO C
RESOLUCIÓN 1207 DEL 2014

RESOLUCIÓN 1207 DE 2014

(Julio 25)

Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

LA MINISTRA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE,

en ejercicio de sus facultades legales y en desarrollo de lo dispuesto en los numerales 2 y 11 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993, la Ley 373 de 1997, el Decreto-ley 3570 de 2011, y

CONSIDERANDO:

Que la Constitución Política establece la obligación en cabeza del Estado y de los particulares de proteger las riquezas naturales de la Nación y planificar el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su conservación, restauración y uso sostenible.

Que el uso eficiente del agua es fundamental para la conservación del recurso hídrico, y es básico para el desarrollo sostenible.

Que la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en el año 2010, establece como estrategia el uso eficiente y sostenible del agua, la cual se orienta a fortalecer la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente del agua.

Que en el contexto de Gestión Integral del Recurso Hídrico el reúso del agua residual aparece como una estrategia para el ahorro y uso eficiente del agua.

Que el reúso de agua residual constituye una solución ambientalmente amigable, capaz de reducir los impactos negativos asociados con la extracción y descarga a cuerpos de agua naturales.

2. Uso industrial.

Variable	Unidad de medida	Valor limite máximo permisible			
		Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas	Descarga de aparatos sanitarios	Limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado	Sistemas de redes contra incendio
Fisicoquímicos					
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Microbiológicos					
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+3)	1,0*E(+4)	1,0*E(+3)	1,0*E(+1)
Helminfos Parásitos Humanos	Huevos y larvas/L	0,1	1,0	1,0	0,1
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	0,0	1,0	1,0	1,0
Salmonella sp.	NMP/100 ml	1,0	1,0	1,0	1,0
Químicos					
Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX)	mg/L	0,001		0,001	
Ésteres Ftalatos	mg/L	0,005		0,005	
Fenoles	mg/L	0,002		0,002	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	0,01		0,01	
Biocidas					
2,4 D ácido	mg/L	0,0001		0,0001	
Diurón	mg/L	0,0001		0,0001	
Glifosato	mg/L	0,0001		0,0001	
Mancozeb	mg/L	0,0001		0,0001	
Propineb	mg/L	0,0001		0,0001	
Iones					
Cianuro Libre	mg CN-/L	0,05			
Cloruros	mg Cl-/L	300,0		300,0	300,0
Fluoruros	mg F-/L	1,0			
Sulfatos	mg SO42-/L	500,0		500,0	500,0
Metales					
Aluminio	mg Al/L	5,0		5,0	
Berilio	mg Be/L	0,1		0,1	
Cadmio	mg Cd/L	0,01		0,01	
Cinc	mg Zn/L	3,0		3,0	
Cobalto	mg Co/L	0,05		0,05	

Cobre	mg Cu/L	1,0		1,0	
Cromo	mg Cr/L	0,1		0,1	
Plomo	mg Pb/L	5,0		5,0	
Hierro	mg Fe/L	5,0		5,0	
Litio	mg Li/L	2,5		2,5	
Manganeso	mg Mn/L	0,2		0,2	
Mercurio	mg Hg/L	0,001		0,001	
Molibdeno	mg Mo/L	0,07		0,07	
Niquel	mg Ni/L	0,2		0,2	
Vanadio	mg V/L	0,1		0,1	
Metaloides					
Arsénico	mg As/L	0,1		0,1	
No Metales					
Selenio	mg Se/L	0,01		0,02	
Otros					
Demanda Bioquímica Oxígeno 5 días (DBO5)	de mg O2/L			30,0	

ANEXO D
REACTIVOS COMUNES PARA EL PROCESO DE NEUTRALIZACION EN AGUAS
REDISULES

Resumen de propiedades para reactivos habituales de neutralización

Propiedad	Carbonato de calcio (CaCO₃)	Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂)	Óxido de Calcio (CaO)	Ácido Hidroclorhídrico (HCl)	Carbonato de Sodio (Na₂CO₃)	Hidróxido de Sodio (NaOH)	Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)
Forma disponible	Polvo, triturado (varios tamaños)	Polvo, grado	masa, grano, molido	líquido	Polvo	Lentejas, escamas, líquido	Líquido
Transporte	saco, barril, a granel	Saco (50 lb), a granel	saco (80lb), barril, a granel	barril, tambor, a granel	Saco (100 lb), a granel	Tambor (735, 100, 450 lb)	garrafa, tambor (825 lb), a granel
Densidad bruta, lb/ft ³	Polvo 48 a 71; triturado 70 a 100	25 a 50	40 a 70	27,9%, 0,53 lb/gal; 31,45%, 9,65 lb/gal	34 a 62	Varios	106, 114
Riqueza comercial	---	Normal 13% Ca(OH) ₂	75 a 99%, normal 90% CaO	27,9%, 31,45%, 35,2%	99,2%	98%	60° Be, 77,7%, 66° Be, 93,2%
Solubilidad en agua (lb/gal)	Casi insoluble	Casi insoluble	Casi insoluble	Completa	0,58 32°F, 1,04 50°F, 1,79 68°F, 3,33 86°F	3,5 32°F, 4,3 50°F, 9,1 68°F, 9,2 86°F	Completa
Forma de alimentación	lechada seca en lecho fijo	seco o lechada	seco o lechada (en forma de Ca(OH) ₂)	Líquido	Seco, líquido	Disolución	Líquido
Tipo de alimentación	Bomba volumétrica	Bomba dosificadora volumétrica	Seco - b. volumétrica	Bomba dosificadora	Alimentador volumétrico, bomba dosificadora	Bomba dosificadora	Bomba dosificadora
Equipamiento accesorio	Tanque de lechada	Tanque de lechada	Tanque de lechada o mezclador	Tanque de dilución	Tanque de disolución	Tanque de solución	---
Materiales adecuados para el manejo	hierro, acero	hierro, acero, plástico, manguera de goma	hierro, acero, plástico, manguera de goma	Hastelloy A, materiales plásticos y de goma específicos	hierro, acero	hierro, acero	---
Comentarios	---	---	Sumin. medios de limpieza de conducc.	---	Puede cuajar	La disolución del sólido genera mucho calor	Sum. Medios de limpieza y neut. de vertidos

ANEXO E

**FICHA TECNICA DEL SULFATO DE ALUMINIO DADA POR LA EMPRESA ALDAR
QUIMICA S.A COMO REACTIVO COAGULANTE UTILIZADO EN LA FASE DE PRE-
EXPEIMENTACION**



SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO

COAGULANTE INORGÁNICO EFECTIVO EN CLARIFICACIÓN DE AGUA CRUDA DURANTE PROCESOS INDUSTRIALES Y DE POTABILIZACIÓN. PUEDE SER USADO COMO AUXILIAR DE COAGULACIÓN EN LA DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES ACEITE EN AGUA, REMOCIÓN DE COLORANTES EN AGUAS RESIDUALES Y EN POTABILIZACIÓN.

PROPIEDADES FÍSICAS

APARIENCIA LÍQUIDO CRISTALINO O LIGERAMENTE TURBIO

DENSIDAD 1.28-1.32 gr/ml

SOLUBILIDAD MUY SOLUBLE

CADUCIDAD 24 MESES

VENTAJAS

FÁCIL DE APLICAR, BAJA DOSIFICACIÓN, AHORRO EN APLICACIÓN, EFECTIVO SOBRE UN AMPLIO RANGO DE PH, EFECTIVO EN AGUAS CLORADAS, PRODUCE POCOS LODOS, ALTA DENSIDAD PARA SU FÁCIL DISPOSICIÓN.

AGUA POTABLE

EL SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO ES UTILIZADO COMO AUXILIAR DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, EN UNA DOSIS MÁXIMA RECOMENDADA DE 25 A 30 PPM

CARACTERÍSTICAS

BUENA FORMACIÓN DE FLOC EN TAMAÑO Y DENSIDAD ESPECÍFICA.

CLARIFICACIÓN DE AGUA – CLARIFICA EL EFLUENTE A TRAVÉS DE REDUCCIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y TURBIDEZ POR FLOTACIÓN DE AIRE. GENERA BUENOS RESULTADOS DANDO MAYOR CLARIDAD EN UNDERFLOWS.

EN FILTRACION IMPARTE MAYOR CALIDAD AL FILTRADO.

DOSIS

PARA USO EN AGUA POTABLE 30 mg/lit MÁXIMO

PARA USO EN AGUAS RESIDUALES PUEDE SER DE 50-500 mg/Lt

PARA USO EN AGUAS ACEITOSAS 500-2000 mg/Lt

APLICACIÓN

EL SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO PUEDE SER APLICADO DIRECTAMENTE O BIEN BOMBEANDO EL PRODUCTO DILUIDO CON AGUA LIMPIA EN UNA PROPORCIÓN DE 10:1 USANDO UNA BOMBA DE MATERIAL ANTICORROSIVO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO. MEJORES RESULTADOS SE OBTIENEN PROVOCANDO ALTA TURBULENCIA PARA RÁPIDO MEZCLADO POR UN CORTO TIEMPO DESPUÉS DEL PUNTO DE ADICIÓN.

RIESGO Y TOXICIDAD

EL CONTACTO DIRECTO CON ESTE PRODUCTO NO CAUSA IRRITACIÓN EN LA PIEL.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

DERRAMES PUEDEN SER LIMPIADOS CON ASPERSIÓN DE AGUA.

ALMACENAR EN TANQUES DE MATERIAL TALES COMO ACERO INOXIDABLE, FIBRA DE VIDRIO, PLÁSTICO (PVC, PP, PE). NO SE ALMACENE EN TANQUES DE COBRE, FIERRO O ALUMINIO.

PRESENTACIÓN

SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO SE VENDE EN TAMBORES DE 260 KG, CONTENEDORES DE 1300 KG, Y PIPAS DE 20 A 30 TONELADAS.

ANEXO F

**FICHA TECNICA DEL PAC DADA POR LA EMPRESA ALDAR QUIMICA S.A COMO
COAGULANTE UTILIZADO EN LA FASE DE PRE-EXPERIMENTACION**



Aldar Química S.A. de C.V.

PAC

COAGULANTE INORGÁNICO A BASE DE SAL POLIMÉRICA DE POLICLORURO DE ALUMINIO. TIENE BAJO PESO MOLECULAR Y MEDIANA BASICIDAD. SE APLICA PRINCIPALMENTE EN PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CRUDA Y POTABLE.

PROPIEDADES FÍSICAS

APARIENCIA LÍQUIDO CRISTALINO O AMARILLO

DENSIDAD 1.25gr/ml

SOLUBILIDAD MUY BUENA

CADUCIDAD 24 MESES

VENTAJAS

FÁCIL APLICACIÓN, BAJA DOSIFICACIÓN, AHORRO EN APLICACIÓN, EFECTIVO SOBRE UN RANGO DE pH ALTO, EFECTIVO EN AGUAS CLORADAS, PRODUCE POCOS LODOS (CON ALTA DENSIDAD PARA SU FÁCIL DISPOSICIÓN), NO MODIFICA SIGNIFICATIVAMENTE EL pH, GENERA VOLUMENES BAJOS DE ALUMINIO RESIDUAL, NO HAY INCREMENTOS SIGNIFICANTES EN LA CONDUCTIVIDAD.

AGUA POTABLE

AUXILIAR EN LA COAGULACIÓN O DECOLORACIÓN DURANTE EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. DOSIS DE 10 A 30 PPM.

AGUAS RESIDUALES

ELECTROLITO CATIÓNICO EFECTIVO USADO DURANTE LA COAGULACIÓN PARA LA DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES. GENERA BUENOS RESULTADOS EN LA FLOTACIÓN POR AIRE. TIENE BUEN EFECTO EN REMOCIÓN DE COLORES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y TURBIDEZ.

DOSIS

PARA USO EN AGUA POTABLE 30 mg/lit MÁXIMO

PARA USO EN AGUAS RESIDUALES PUEDE SER ENTRE 50-500 mg/Lt

PARA USO EN AGUAS ACEITOSAS 500-2000 mg/Lt

APLICACIÓN

PAC PUEDE SER APLICADO DIRECTAMENTE O BIEN BOMBEANDO EL PRODUCTO DILUIDO CON AGUA LIMPIA EN UNA PROPORCIÓN DE 10:1 USANDO UNA BOMBA DE MATERIAL ANTICORROSIVO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO. MEJORES RESULTADOS SE OBTIENEN PROVOCANDO ALTA TURBULENCIA PARA RÁPIDO MEZCLADO POR UN CORTO TIEMPO DESPUÉS DEL PUNTO DE ADICIÓN.

RIESGO Y TOXICIDAD

EL CONTACTO DIRECTO CON ESTE PRODUCTO NO CAUSA IRRITACIÓN EN LA PIEL.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

DERRAMES PUEDEN SER LIMPIADOS CON ASPERSIÓN DE AGUA.

PAC SE DEBE ALMACENAR EN TANQUES DE ACERO INOXIDABLE, FIBRA DE VIDRIO, PLÁSTICO (PP, PVC, PE). NO SE ALMACENE EN TANQUES DE COBRE, FIERRO O ALUMINIO.

PRESENTACIÓN

PAC SE VENDE EN TAMBORES DE 260 kgs.

ANEXO G

**FICHA DE SEGURIDAD DEL CLORURO FERRICO DADA POR LA EMPRESA
LIPESA S.A UTILIZADO EN LA FASE DE PRE-EXERIMENTACION Y
EXPERIMENTACION**



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:	Característico
Gravedad específica:	1,420 – 1,520 a 25° C
pH al 100%:	< 2,10 a 25 °C

Dosis

La dosis óptima debe ser determinada por pruebas de laboratorio y campo. Las dosis típicas son:

- Clarificación de aguas: 3 - 260 ppm
- 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 médico inmediatamente.

RM 08-12-RSI

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

PGM07 REV.: 3 F. REV.: 27-02-2009

ANEXO H

FICHA TECNICA DEL REACTIVO L-550A DADO POR LA EMPRESA LIPESA S.A COAGULANTE UTILIZADO EN LA FASE DE PRE-EXPERIMENTACION Y EXPERIMENTACION



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 en el 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 a 25°C:	5,00 – 8,00 al 0,5 %
pH a 25°C:	5,00 – 7,00 al 0,1 %
Solubilidad:	0,5% máx. en agua
Viscosidad Brookfield (Cp):	Máximo 20 al 0,1%

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 más de seis meses en planta.

Despacho y Almacenamiento

LIPESA 1547 M se despacha en sacos de 25 kg. netos y 750 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 1547 M 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

ANEXO I

**FICHA TECNICA DEL REACTIVO L-1547M DADO POR LA EMPRESA LIPESA S.A
FLOCULANTE UTILIZADO EN LA FASE DE PRE-EXPERIMENTACION**



LIPESA 1547 M

POLÍMERO 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 soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1547 M 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 1547 M tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y muchos otros procesos como el papelero y azucarero. LIPESA 1547 M cumple con los requisitos del FDA de los EE.UU. bajo las Regulaciones Federales 21 CFR 173.5 y 173.10.

Descripción General

LIPESA 1547 M es un polímero moderadamente aniónico de "muy alto peso molecular", con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco a crema
Olor:	Inodoro
% Sólidos:	87,00 – 100,00
Solubilidad:	0,5 % en agua
Viscosidad UL:	5,60 – 6,30 cps

Dosis

La dosis de LIPESA 1547 M 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 1547 M 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 1547 M 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 1547 M se despacha en sacos de 25 kg. netos y 750 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 1547 M 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

ANEXO J

FICHA TECNICA DEL REACTIVO L-1538 DADO POR LA EMPRESA LIPESA S.A FLOCULANTE UTILIZADO EN LA FASE DE PRE-EXPERIMENTACION



LIPESA 1538

POLÍMERO 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 soluble 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. **LIPESA 1538** cumple con los requisitos de la FDA para uso en producción de azúcar bajo la Regulación Federal 21CFR.173.5.

Descripción General

LIPESA 1538 es un polímero sólido de "muy alto peso molecular", fuertemente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Granular de flujo libre
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Viscosidad Brookfield (cP):	Mínimo 2000 al 0,5% Mínimo 1000 al 0,25% Mínimo 300 al 0,1%
Solubilidad:	Máxima en agua 0,5%

Dosis

La 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 750 Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. Tiempo de almacenamiento (vida útil): 24 meses a partir de la fecha de elaboración indicada en el envase.

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 mucha agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

BD-06-15-NYR

Rev.: 8

*"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

ANEXO K
CALCULOS PERTINENTES PREPARACION SOLUCION DE HIDROXIDO DE SODIO
AL 10%

Para la preparación de 500 mL de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N, se debe seguir el siguiente proceso estandarizado.

1. Pesar 4 g de NaOH con una pureza del 99,98%, y disolverlos en 20 mL de agua destilada, debido a que es una reacción de tipo exotérmico, se espera un incremento de temperatura, razón por la cual se debe añadir lentamente las perlas de NaOH.
2. Esperar a que se enfrié la disolución, para finalmente llevar al aforo en un balón aforado de 500 mL.
3. Para la valoración de la solución de NaOH, se utilizan 0.2 g de biftalato de potasio para hacer disoluciones de 50 mL.
4. Se llena una bureta con la solución de NaOH 0.1 N.
5. Se titulan las muestras de biftalato de potasio con NaOH, utilizando como indicador la fenolftaleína.
6. Agregar 4 de fenolftaleína hasta que paso de incoloro a un ligero color rosado.

ANEXO L

**COTIZACION ULTRAFILTRACION Y OSMOSIS INVERSA DADO POR LA EMPRESA
AGUANOVA PARA LA FASE DE E EXPERIMENTACION**

EMPRESA: ETERNA	FECHA: OCTUBRE 15 DE 2019	PC-CPAR
CONTACTO: INGA, PAULA ANDREA QUATRONZA	CARGO: Gestión de Proyectos	V2 26-12-2018
CUIDAD: BOGOTÁ D.C.	COTIZACIÓN: CTF-1156-19	TELEFONO:
REFERENCIA: • SERVICIO DE PRUEBAS DE UF Y RO PARA AGUA RESIDUAL		

Estimados Señores:

En respuesta a su amable solicitud a continuación presentamos oferta para el suministro de:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	VR.UNIT	VR.TOTAL
1	<p>SERVICIO DE PRUEBAS DE UF Y RO PARA AGUA RESIDUAL</p> <p>Compuesto por:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alquiler KIT PILOTO de unidad portátil de microfiltración y membrana de Ultrafiltración y Osmosis Inversa. Juego de Cartuchos : <ul style="list-style-type: none"> Ref:SP251005 Ref:UOF2510 Ref:CB251001 Referencia de membrana UF ultrafiltración Hollow Fiber. Ref: RE5371302 Incluye carcasa y accesorios. Unidad de Osmosis Inversa piloto. Referencia:TW301812100D Incluye carcasa y conectores. Caudal: 100 GPD. Alquiler de bomba multietapas. <p>Duración de la prueba: (1) día a cargo de (1) técnico y el asesor.</p> <p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> Informe de prueba con hallazgos Medición de cloruros (2) permeado y rechazo, con informe de laboratorio certificado. 	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000

Soluciones Filtrantes - Abastecimiento Eléctrico

ANEXO M

**COTIZACION MATERIAS PRIMAS NECESARIAS PARA LLEVAR A CABO LA
ALTERNATIVA DADA POR LA EMPRESA LIPESA S.A**



Tocancipá, 27 de Noviembre de 2019

CE-LM27112019

Señores
ETERNA S.A
Atn: Ing. Verónica Díaz
Bogotá

Ref.: COTIZACIÓN DE PRODUCTO QUÍMICO COAGULANTE Y FLOCULANTE

Cordial Saludo,

A través de la presente nosotros, LIPESA COLOMBIA SAS, saludamos de manera muy atenta a ETERNA SA y hacemos de su conocimiento la cotización de los productos solicitados.

1. LISTA DE PRECIOS

PRODUCTO	FUNCIÓN	PRESENTACION KG	PRECIO/Kg 2019
L-AC011	COAGULANTE	Caneca * 60 kg	\$ 4.995
L-1550A	FLOCULANTE	Saco * 25 kg	\$ 19.680

De acuerdo a la solicitud, en la siguiente tabla se muestran los consumos para un caudal de 24 m³/día y 24 días al mes de operación:

PRODUCTO	FUNCIÓN	CONCENTRACIÓN (ppm)	CONSUMO (Kg)/Mes	PRECIO/Mes 2019
L-AC011	COAGULANTE	120	69,1	\$ 345.154
L-1550A	FLOCULANTE	4	2,3	\$ 45.264
			TOTAL	\$ 390.418

Carretera Central Bogotá- Tunja Frente a Bavaria, TOCANCIPA - COLOMBIA
Tel: 8786600 Fax 8786600 Celular: 3142274915
E-mail: luis.moreno@lipesa.com - Web Site: www.lipesa.com
Nit 830035263-2



Nota 1: Por favor tener en cuenta la presentación de cada uno de los productos en el momento de hacer la solicitud de compra

Nota 2: En esta propuesta no se incluye ninguna visita técnica mensual a planta.

Nota 3: En esta propuesta no se incluyen bombas de dosificación para los productos químicos.

2. CONDICIONES COMERCIALES

- A los precios deberá sumarse el IVA vigente a la fecha de facturación.
- Los precios tienen vigencia 30 días a partir de la fecha.
- La forma de pago es a crédito a 30 días, siempre y cuando se garanticen compras superiores a 1.5 millones/mes, de lo contrario el pago deberá ser de contado.
- Los productos serán entregados CINCO (5) días hábiles después de recibir su Orden de Compra o pedido.
- El sitio de entrega de los productos será en sus instalaciones.

Agradecemos su comprensión y reiteramos nuestro compromiso por ser y continuar siendo su aliado en el tratamiento de aguas y procesos.

Ing. Luis Eyder Moreno Trujillo
Representante Técnico Comercial
Lipesa Colombia S.A.S
Teléfono (Phone) 57- 3142274915
luis.moreno@lipesa.com
www.lipesa.com

Carretera Central Bogotá- Tunja Frente a Bavaria, TOCANCIPA - COLOMBIA
Tel: 8786600 Fax 8786600 Celular: 3142274915
E-mail: luis.moreno@lipesa.com - Web Site: www.lipesa.com
Nit 830035263-2

ANEXO N

**COTIZACION EQUIPOS DADO POR LA EMPRESA AGUAS SISTEMAS Y
SOLUCIONES INTEGRALES S.A**



Agua sistema y soluciones
integrales SAS

Fecha cotización 29 de noviembre de 2019
Cotización GOT. 0128-19
Cliente Eterna
Ingeniero Verónica Díaz Ballesteros

REF: EQUIPO

EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EMPRESA ETERNA S.A.

OBJETIVO

Satisfacer las necesidades de agua para vertimiento requeridas en la clínica; efectuando la construcción de las obras necesarias para la localización de la planta, la fabricación de la planta de tratamiento de agua residual doméstica y el suministro de todos sus componentes, realizar la instalación y puesta en marcha del sistema, valorando la calidad del agua tratada y capacitando al personal asignado para la operación y mantenimiento.

VENTAJAS

La planta de tratamiento de tipo semi-compacta es una unidad pre-ensamblada de fábrica reduciendo el área de instalación en sitio, disminuyendo costo en obras de transporte por peso y volumen, fácil de instalar y sencilla de operar.

OTRAS VENTAJAS:

- ✓ Cero costos de mantenimiento preventivo para el cuerpo de la planta, por estar construida en un material inerte como lo es el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) que no tiene problemas de corrosión.
- ✓ Bajo costo de construcción que evita el desplazamiento de Ingeniero Civil y maestro al sitio de instalación y sobre costo de materiales como hierro y cemento.
- ✓ Fácil de reubicar dentro de las instalaciones de los pozos por su bajo peso y sencillez de instalación.

Los principales contaminantes del agua residual son DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, grasas, aceites y tenso activos, las cuales se presentan principalmente en material orgánico suspendido en el agua en estado coloidal. Las fuentes principales de contaminación orgánica son los desechos de cocinas, lavadoras y las aguas de baños e inodoros.

La reducción de las grasas es conseguida habitualmente por medio de trampas de grasas, las cuales funcionan suministrando tiempo suficiente para que las grasas más livianas que el

ASSI Agua sistema y soluciones integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 86 41 / 031 7876784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua, sistema y soluciones

agua, se separen naturalmente flotando sobre la superficie del agua y siendo recogidas por medio de una nasa.

El tratamiento más recomendable para el agua residual doméstica es el biológico, debido a que con él se ha alcanzado buenas remociones de carga orgánica y porque las características del desecho del proceso han demostrado ser biodegradables

Cualquiera que sea la alternativa biológica presentada se requiere un tratamiento primario, el cual consta de cribado grueso-fino, flotación, tamizaje, regulación de caudal, homogenización y sedimentación. Por el alto contenido de sólidos suspendidos es obligatorio la sedimentación en tanques ya que así se puede separar hasta el 60% de los sólidos en suspensión y el 30% de DBO_5

El sistema sugerido se basa en el proceso de lodos activados, los cuales son una mezcla de agua residual y lodo biológico, estos microorganismos anaerobios, con un tiempo suficiente de retención oxidan los compuestos orgánicos de las aguas residuales.

A medida que los microorganismos van creciendo y se mezclan en el tanque se aglutinan y forman una masa biológica activa que se llama "lodo activado", la mezcla de lodo activado y aguas residuales en el tanque se denomina licor mezclado, el cual fluye a un sedimentador en donde se sedimentan los lodos y el sobrenadante puede descargarse, sobre una corriente receptora, la cual puede ser pulida mediante un proceso fisicoquímico para garantizar el cumplimiento de la calidad requerida para ser reutilizada o vertida

Para el diseño del sistema deben tenerse en cuenta los siguientes factores operacionales: la cinética de la reacción que gobierna el proceso de tratamiento la transferencia y necesidades de oxígeno y las condiciones ambientales locales.

La eliminación del DBO_5 de un agua residual tiene lugar en 2 fases dentro de proceso de lodos activados:

1. Fase de absorción: requiere de 20 a 40 minutos y se absorbe en el lodo la mayor parte de la materia orgánica.
2. Fase de oxidación. Seguidamente la materia orgánica es metabólicamente asimilada.

Las ventajas y desventajas de este sistema son los siguientes:

Las ventajas son:

- Son muy eficientes para remover cargas orgánicas
- No genera olores molestos
- Requiere muy bajo consumo de energía
- bajos costos en supervisión y mantenimiento

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 88 41 / 031 7876784

sguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua sistema y soluciones
Integrales S.A.S.

Las desventajas son:

- Requiere altos costos de inversión inicial, construcción y equipos.
- Requiere operarios calificados
- Genera un alto volumen de lodos los cuales deben ser deshidratados y dispuestos.

El sistema sugerido consta de un proceso biológico anaerobio seguido de un proceso de ultrafiltración y desinfección del agua, el proceso biológico consta de un conjunto de procesos que permiten la digestión de la materia orgánica, el reactor biológico consta de 3 etapas, inicialmente un sedimentador/ trampa de grasas, en este paso queda retenido todo el material pesado, tal como residuos de comida y el material flotante tal como la grasa, en el segundo tanque se efectúa la etapa de biodegradación, (oxidación de la materia orgánica disuelta) y biosíntesis (producción de nueva biomasa celular) estos procesos producen un agua clarificada, esto es, sin materia orgánica en suspensión, esta materia orgánica precipita llevando consigo la mayor parte del DQO y del DBO5.

El pulimento de la parte biológica es un filtro anaerobio de oxidación avanzada (FAFA) que termina de degradar la materia orgánica remanente en el agua.

Posteriormente el clarificado es enviado a un proceso de clarificación, por filtración mecánica, y seguido de ultrafiltración y desinfección donde se asegura la eliminación del color y la turbidez remanente en el agua, esta agua mediante un proceso de dosificación de un bactericida y un coagulante queda apta para su reutilización o en su defecto para vertimiento a un lecho de infiltración.

Los lodos, de la parte biológica son enviados a un lecho de secado donde pueden ser desechados como abono o relleno.

Este proceso mixto asegura una alta eficiencia en la remoción de contaminantes durante las diferentes etapas de tratamiento, remueve turbidez, sólidos suspendidos, color, DBO5, DQO, AYG, SST, ETC.

Datos de Diseño	<ul style="list-style-type: none">• Unidad de clarificación por decantación retenida.• Sistema de filtración• Ciclo de dosificación de hipoclorito.• Unidad de ultrafiltración• Unidad de RO
------------------------	--

BOMBA DE TRASIEGO

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales S.A.S

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 86 41 / 031 7876784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua sistema y soluciones

OBJETIVO enviar el agua biológicamente tratada hacia la planta fisicoquímica, normalmente se hace por medio de una bomba sumergible

SISTEMA DE DOSIFICACION

OBJETIVO Inyectar los productos químicos necesarios para lograr una total remoción de la contaminación orgánica, normalmente se aplica un oxidante y un coagulante, esto con el fin de precipitar la materia orgánica remanente en el agua.

PLANTA DE CLARIFICACION

OBJETIVO en este tanque se producen los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, produciendo un clarificado apto para ser reutilizado y/o vertido, la planta necesaria tiene un desplazamiento de 20 metros cúbicos, con paneles internos que aseguran las 3 etapas de proceso.

SISTEMA DE FILTRACION DE SEDIMENTOS

OBJETIVO retener las partículas suspendidas hasta un tamaño de 50 micras produciendo un agua de buena calidad. Este sistema tiene incorporado una bomba de trasiego con el fin de vencer la resistencia hidráulica del filtro, la capacidad del sistema de filtración es de 40 gpm

SISTEMA DE ABSORCION DE CONTAMINANTES

OBJETIVO retener los remanentes de DBO5 Y DQO que puedan haber quedado disueltas en el agua, produciendo un agua de buena calidad para ser vertida. Este sistema consta de 2 tanques conteniendo carbón activado granulado el cual retiene compuestos orgánicos disueltos tales como mercaptanos fenoles etc.

TANQUE DE SECADO DE LODOS

OBJETIVO los lodos producidos tanto en la planta biológica como en la fisicoquímica son deshidratados en un filtro lento, con el fin de poder disponer de ellos ya sea como abono o relleno.

El tanque sugerido tiene unas dimensiones de 1.5 *4.5 metros divididos en tres tanques con sus divisiones internas su sistema colector de lixiviado y su material filtrante y de soporte,

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales SAS

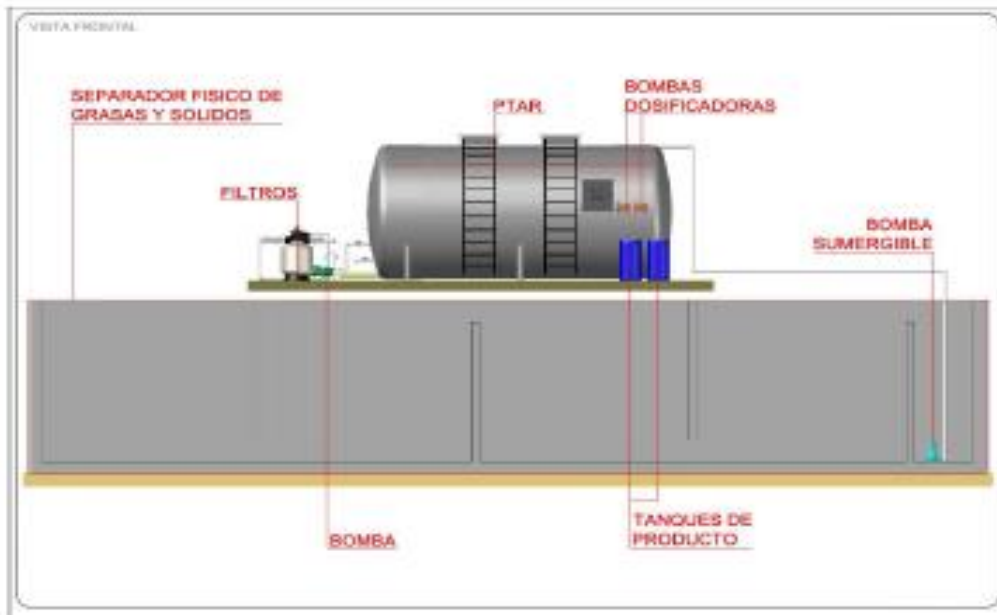
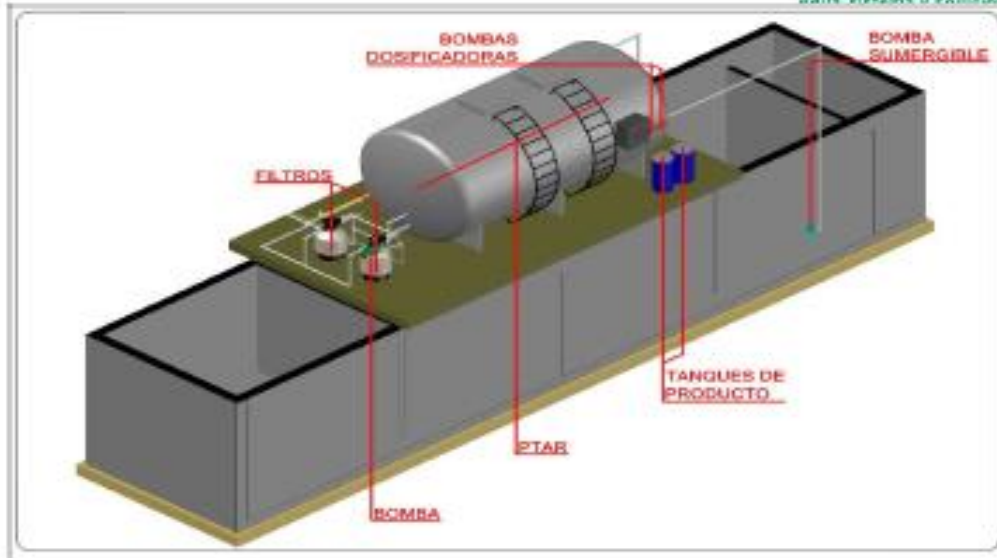
YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 88 41 / 031 7976784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



AS3I Agua sistema y soluciones integrales SAS



AS3I Agua sistema y soluciones integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 98 41 / 031 7975784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua sistema y soluciones
integrales S & S

BOMBAS SUMERGIBLES Y CENTRIFUGAS

Extraen y conducen el agua del tanque de equilibrio al inicio de la planta de tratamiento, están diseñadas para trabajar y ser controladas desde el tablero central. Funcionan en opción automática o manual con sistema de flotador para evitar que la bomba trabaje en seco.

TANQUE HOMOGENIZADOR

El tanque sugerido tiene unas dimensiones de 3.51 Ø X 2.5 metros H, con sus respectivos pases, ofrece la construcción del tanque.

Cantidad	1 un
Forma	CILINDRICO
Capacidad	24.000 litros
Material	PFVR

TAMIZAJE O CRIBADO

Tamiz o criba necesaria para la retención de material grueso-fino. Por el alto contenido de solidos suspendidos es obligatorio la instalación de un sistema de retención inicial para que el proceso de reacción biológica tenga una mayor eficiencia y eficacia.

ASSI Agua sistema y soluciones integrales SAS

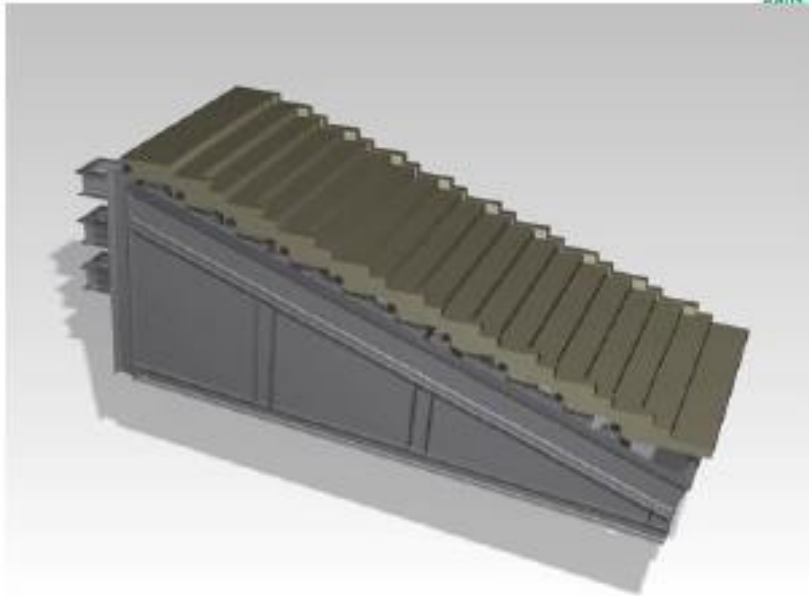
YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 88 41 / 031 7975784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 900.748.816-2



Agua sistema y soluciones
Integrales S.A.S.



FILTRACIÓN

Luego de floculada y sedimentada el agua se procede al pulimento del agua por medio de un sistema de dos filtros con válvulas para proceso de filtración sobre lechos de arena, y carbón activado.

Cantidad	2 un
Altura Lecho Filtrante	0.8 metros
Medio Filtrante	Arena y carbón activado.
Tipo de filtración	Rápida
Tipo de flujo	Ascendente
Tipo de lavado	Manual y automático

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales S.A.S

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 98 41 / 031 7875784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 900.748.818-2



Agua sistema y soluciones



EQUIPO DE ULTRAFILTRACION

Equipo diseñado para el paso después de la filtración mecánica, del agua residual tratada y filtrada con una microfiltración antes del paso por las membranas del equipo de ultra-filtración, de fácil manejo, bajo consumo de agua en su sistema de limpieza ya que cuenta con un sistema de autoflush para su limpieza diaria, la calidad de agua proveniente después del paso por el equipo nos permite una reutilización de esta agua en los sanitarios y en la aspersión de los campos.

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 98 41 / 031 7975784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 900.748.816-2



Agua sistema y soluciones
S.A.S



DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS

Para la dosificación de los productos químicos se diseñó un sistema con bombas dosificadoras, en donde se deben utilizar químicos totalmente solubles en agua, cada producto cuenta con un tanque de solución y un sistema de dosificación tipo diafragma.

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 98 41 / 031 7976784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 900.748.616-2



Agua sistema y soluciones
integrales S & S



Tipo de dosificación	Diafragma
Sistema	Desplazamiento positivo
Voltaje	110 voltios / 60 Hz
Productos Químicos	PAC, Flocculante, Soda, Cloro,
Cantidad de Químicos	Se entrega producto químico por (2) días para el arranque

TANQUE DE SECAMIENTO DE LODOS



ASIS Agua sistema y soluciones integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 86 41 / 031 7975784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.618-2



Agua sistema y soluciones
integrales S.A.S.

TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO

Se suministra un tablero eléctrico de fuerza y control, para cada uno de los componentes de la planta: bombas sumergibles, centrifugas y dosificadoras de químicos.



OFERTA COMERCIAL PROPUESTA 1

ITEM	PRODUCTO	CANT	U M	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	TANQUE HOMOGENIZADOR FABRICACION CIRCULAR VERTICAL DE 24,1 M3, DIAMETRO 3,51 MTS, ALTURA 2.5 MTS, FABRICADO EN PRVF, TERMINADO INTERNO LISO, EXTERNO RUGOSO Y PINTURA COLOR ESEADO, CON TAPA ABOMBADA Y FONDO PLANO, DESFOGUE CUELLO DE GANZO DE 4", MANHOLE DE INSPECCION EN LA TAPA Y LATERAL, ESCALERA EXTERNA TIPO DE GATO CON BRIDA DE ENTRADA, SALIDA Y DESAGÜE MIRILLA TRANSLUCIDA AFORADA. MENSULAS PARA IZAJE Y LINEA DE VIDA, PARA CONTENER AGUA RESIDUAL.	1	UND	\$ 35.000.000,00	\$ 35.000.000,00
2	TRAMPA DE GRASAS DE CUATRO DIVISIONES FABRICADO EN POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Capacidad: 8 m3 Altura: 1 m Ancho: 2 m Largo: 4 m	1	UND	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00

ASSI Agua sistema y soluciones integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 98 41 / 031 7876784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua sistema y soluciones
Integrales S.A.S

3	TANQUE HOMOGENIZADOR SECUNDARIO EN PRFV, MEDIDAS 2.00M X 4.00M X 2.50M, CON CAPACIDAD 20 M ³ INCLUYE DOS DIVISIONES INTERNAS DEBIDAMENTE REFORZADO CON ANGULO DE 1 1/2" X 3 1/16", RECUBIERTO EN PRFV Y SUS RESPECTIVOS MODULOS DE SEDIMENTACION ACCELERADA TIPO COLMENA.	1	UND	\$ 21.500.000,00	\$ 21.500.000,00
4	TANQUE CLARIFICADOR Y SEDIMENTADOR CÓNICO FABRICADO EN POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Ø=1.50 M h, RECTA=1.40 M, h CÓNICA 0.88M. CAPACIDAD 4 m ³ , CAPACIDAD DEL TANQUE DE 24,1 M ³ , DIAMETRO 3,51 MTS, ALTURA 2.5 MTS, FABRICADO EN PRFV, INCLUYE TAPA SUPERIOR Y MANHOLL CON SU RESPECTIVA TORNILLERIA Y PATAS SOPORTE EN CANAL U DE 3" CON ANTICORROSIVO Y PINTURA EPOXICA. PESO DE CADA TANQUE: 240 KLS	1	UND	\$ 35.000.000,00	\$ 35.000.000,00
1	TANQUE MULTIMEDIA DE RETENCIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA DE 30" Ø X 24" H. EN ACERO AL CARBON CON DISTRIBUIDORES INTERNOS (INFERIOR Y SUPERIOR) CON PINTURA INTERNA EN CAUCHO, ANTICORROSIVO Y TERMINADO EN PINTURA AZUL REY CON UNA CAPACIDAD DE 200 GPM	1	UND	\$ 7.200.000	\$ 7.200.000
2	TANQUE CARBÓN ACTIVADO DE 30" Ø X 24" H. EN ACERO AL CARBON CON DISTRIBUIDORES INTERNOS (INFERIOR Y SUPERIOR) CON PINTURA INTERNA EN CAUCHO, ANTICORROSIVO Y TERMINADO EN PINTURA AZUL REY CON UNA CAPACIDAD DE 200 GPM	1	UND	\$ 7.800.000	\$ 7.800.000
5	SISTEMA DE BOMBEO DE DOS BOMBAS DE 1,5 HP, CON TABLERO DE CONTROL Y CONTROLADORES DE NIVEL ENCENDIDO AUTOMATICO Y MANUAL. CON VARIADOR DE VELOCIDAD	1	UND	\$ 15.000.000,00	\$ 15.000.000,00
6	SISTEMA DE ULTRAFILTRACION CON CAPACIDAD DE FILTRACION DE 2,2 M ³ HORA	1	UND	\$ 28.000.000,00	\$ 28.000.000,00
7	SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA CON CAPACIDAD DE FILTRACION DE 9000 GPD CON MEMBRANAS DE ALTA	1	UND	\$ 25.000.000,00	\$ 25.000.000,00
8	BOMBA DOSIFICADORA	6	UND	\$ 2.500.000,00	\$ 15.000.000,00
	SUB TOTAL				\$ 199.500.000,00
	IVA			19%	\$ 37.905.000,00
	VALOR TOTAL				\$ 237.405.000,00

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales S.A.S

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 88 41 / 031 7976784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua sistema y soluciones
integrales S.A.S.

NOTA: EL VALOR DE LA OFERTA INCLUYE EL IVA

FORMA DE PAGO

- ✓ Cincuenta por ciento (50%) como anticipo.
- ✓ Treinta por ciento (30%) con la entrega de los equipos.
- ✓ Veinte por ciento (20%) contra entrega a entera satisfacción.

TIEMPO DE ENTREGA

Sesenta (90) días hábiles a partir de la fecha de legalización del contrato y recibo del primer anticipo.

VALIDEZ

La anterior oferta tiene una validez de treinta (30) días a partir de la presentación de la misma.

MEMORIA Y DISEÑO DEL EQUIPO

Se realizará el diseño mediante memorias de cálculo e ingeniería, las cuales se pueden entregar al cliente por el valor del 10% de la propuesta, incluye diagrama en 3D, sistema hidráulico, sistema eléctrico y diseño de tanque del reactor biológico. Los valores generados por los cálculos una vez realizado el acuerdo de trabajo y/o orden de compra serán descontados del valor final de la propuesta antes de IVA.

GARANTÍAS

Los equipos se garantizan por un tiempo mínimo de un (1) año a partir de la fecha de entrega. Limitándose a la reparación o cambio de las piezas defectuosas comprobadas por nuestro Departamento técnico y que no se hayan afectado por mal uso o manejo o daño emergente.

ASSI AGUA SISTEMAS Y SOLUCIONES INTEGRALES S.A.S., garantiza la disponibilidad para la venta de los repuestos necesarios y los productos químicos, además del servicio de mantenimiento post-venta durante la vida útil de los equipos.

Se expedirán las pólizas de manejo de anticipo, cumplimiento y estabilidad de la obra de acuerdo a la ley.

ASSI Agua sistema y soluciones integrales S.A.S

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 88 41 / 031 7875784

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2



Agua sistema y soluciones
integrales S & S

RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE

- ✓ Suministro de energía en el sitio de la obra
- ✓ Vigilancia y bodegaje en el sitio de la obra
- ✓ Conexiones de tuberías y desagües que no estén estipulados en la presente oferta
- ✓ Disponibilidad del personal para la capacitación
- ✓ Suministro de energía eléctrica y neumática a 0 metros del punto de instalación de los equipos.

NOTAS ADICIONALES:

- ✓ La cotización incluye estudio de suelos
- ✓ La cotización incluye los químicos para el arranque de la planta
- ✓ La cotización no incluye mantenimientos que estén por fuera de la oferta económica
- ✓ La cotización incluye dos análisis físicos químicos del agua tratada, un análisis fisicoquímico del agua cruda.
- ✓ La cotización no incluye permisos de vertimientos ni captación de agua.
- ✓ La cotización no incluye equipos que no aparezcan en la presente cotización.

ASSI Agua sistema y soluciones Integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 317 837 88 41 / 031 7976784

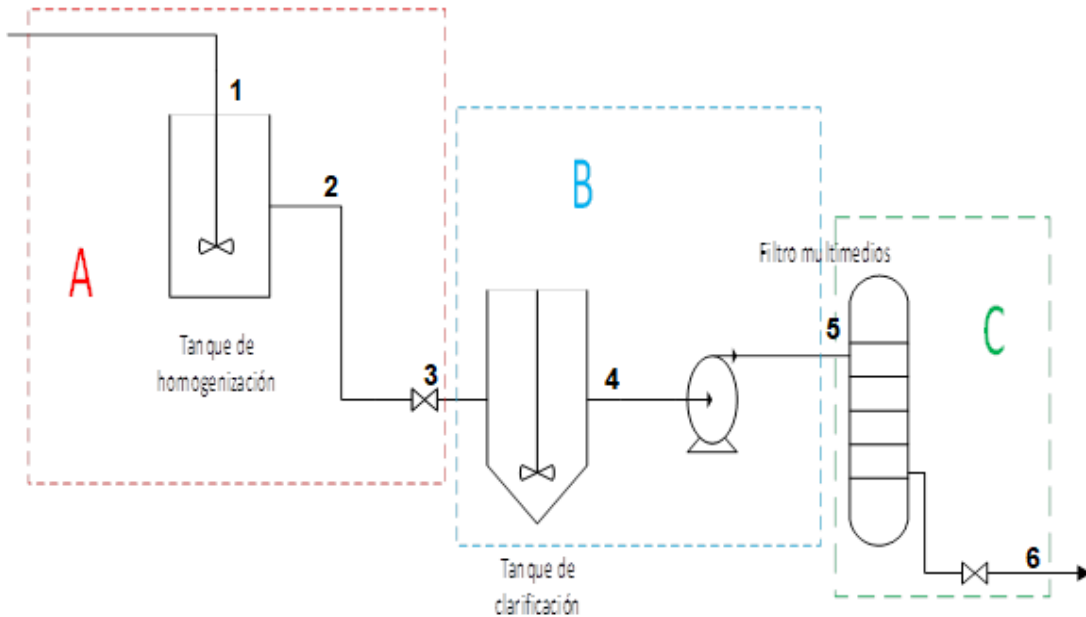
aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 800.748.818-2

ANEXO O
BALANCE DE ENERGÍA CONSUMO TOTAL DEL SISTEMA

En el presente balance de energía que permite justificar el consumo energético total utilizado por el sistema de tratamiento propuesto, se tomaron tres volúmenes de control los cuales corresponden a; A, B y C, respectivamente, se hace la separación por volúmenes de control para facilitar el reconocimiento de accesorios, elementos y demás que puedan contribuir a pérdidas de energía dentro del sistema.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_{L_{TOTAL}} + h_a = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3$$



VOLUMEN DE CONTROL A.

Todas las listadas ecuaciones a continuación y que permitieron el desarrollo del mismo, se encuentran todas en el libro “Operaciones unitarias en ingeniería química” de Warren McCabe, en los capítulos 2 y 4.

Primero se debe tener en cuenta, que para conocer la presión en el **punto 2**, es decir la **tubería 1**, del volumen de **control A**, hay que utilizar la ecuación básica presión hidrostática, además, se tiene conocimiento que la **altura del tanque es 4,29 m**, para la ubicación de la tubería PVC, se tomara una **altura de 4,19m**, y con respecto a densidad del agua residual en el “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico , sección C, reglamento II”, se indica que para un agua de tipo residual esta es aproximadamente **1,03 kg/m³**.

$$P_2 = P_{atm} - \rho gh$$

$$P_2 = 101,325 \text{ kPa} - \left(1,03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (4,19\text{m})$$

$$P_2 = 59,987 \text{ kPa}$$

Para completar el balance de energía que se enuncia al principio, es necesario conocer las pérdidas de energía debidas a los accesorios, en **volumen de control A**, se tienen en cuenta los siguientes accesorios; elemento 1 (entrada con bordes afilados, conexión de salida del tanque), válvula de compuerta completamente abierta, codo (90°) y las pérdidas de carga por fricción en la tubería.

- Pérdida total en accesorios (elemento 1, válvula y codo (90°)).

$$h_L = k \frac{V^2}{2g}$$

Para hallar k , que es el factor que depende de la singularidad (accesorios y elementos) que se encuentran listados en el **ANEXO Q**, se toman los valores según el tipo de accesorio.

	k	hL (m)
<i>Elemento 1 (entrada con bordes)</i>	0,5	0,3688
<i>Válvula de compuerta completamente abierta.</i>	0,2	0,1475
<i>Codo (90°)</i>	1	0,7376
<i>Tubería 1</i>	0,3430	0,2530
	TOTAL	1,5069

- Pérdida total por fricción en la tubería.

Para conocer las pérdidas de carga por fricción es necesario conocer el régimen de velocidad, esto a partir del número de Reynolds;

$$Re = \frac{v * D}{\nu} = 13099,72$$

De acuerdo al número de Reynolds, se determina que el fluido tiene un régimen de velocidad turbulento, por lo cual, para calcular k se deben utilizar las siguientes ecuaciones;

$$k = f * \frac{L}{D}$$

$$f = 0,046Re^{-0,2}$$

$$f = 0,0069073$$

$$k = 0,34307$$

Por lo tanto, la pérdida de carga por fricción en la tubería 1, es;

$$h_L = k \frac{V^2}{2g} = 0,2530 \text{ m}$$

Finalmente, para calcular la pérdida de carga del balance de energía, se llega a la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que el diámetro de la tubería es igual a lo largo de la misma, y que no hay cambios de altura, por lo tanto, se descartan pérdidas de energía cinética y potencial.

$$h_a = \frac{\Delta P}{\gamma} + H_{L_{TOTAL}}$$

Y por último para hallar la potencia final del **volumen de control A**, se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_a = \gamma * h_a * Q$$

VOLUMEN DE CONTROL B.

Para determinar las pérdidas de carga del volumen de control B, se debe tener en cuenta que el caudal que sale del clarificador es de 19,5 m³/día, a longitud de la tubería es 2,5 m y la altura del clarificador es 4,50m. Todas las pérdidas se calculan de manera similar al volumen de control A, lo único que se calcula diferente es la pérdida de carga por la bomba.

- Pérdida de carga por bomba centrífuga.

Para esto se tiene en cuenta que el factor de fricción, en este caso es dependiente del régimen de velocidad, es este caso utilizando la ecuación mencionada anteriormente se sabe que el número de Reynolds 10643,53, por lo cual es turbulento y se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$h_L = 2f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2}$$

En la siguiente tabla resumen se mostrarán los valores para las pérdidas de carga calculadas para el volumen de control B.

	k	hL (m)
<i>Elemento 2 (entrada con bordes filosos)</i>	0,5	0,2434
<i>Elemento 3 (pérdida en la salida de la tubería)</i>	1	0,4869
<i>Bomba centrífuga</i>	-	2,4560
<i>Tubería 2</i>	0,5960	0,2902
	TOTAL	3,4767

Para calcular la pérdida de carga del balance de energía, se llega a la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que el diámetro de la tubería es igual a lo largo de la misma, y que no hay cambios de altura, por lo tanto, se descartan pérdidas de energía cinética y potencial.

$$h_a = \frac{\Delta P}{\gamma} + H_{L_{TOTAL}}$$

Y por último para hallar la potencia final del **volumen de control A**, se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_a = \gamma * h_a * Q$$

VOLUMEN DE CONTROL C.

Para el volumen de control se deben tener las consideraciones tales como el flujo volumétrico que sale de los filtros 17 m³/día, y una longitud de tubería de 4m, para determinar las pérdidas de carga, en la siguiente tabla resumen se muestran los valores para las mismas.

	k	hL (m)
<i>Elemento 4 (entrada con bordes)</i>	0,5	0,1850
<i>Válvula de compuerta completamente abierta.</i>	1	0,3700
<i>Tubería 3</i>	0,9801	0,3627
	TOTAL	0,9178

Para calcular la pérdida de carga del balance de energía, se llega a la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que el diámetro de la tubería es igual a lo largo de la misma, y que no hay cambios de altura, por lo tanto, se descartan pérdidas de energía cinética y potencial.

$$h_a = \frac{\Delta P}{\gamma} + H_{L_{TOTAL}}$$

Y por último para hallar la potencia final del **volumen de control A**, se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_a = \gamma * h_a * Q$$

A continuación, se muestran todos los resultados del balance de materia en una tabla resumen con todos los datos obtenidos utilizando las ecuaciones ya mencionadas.

	A	B	C
h_LTOTAL (m)	1,5069	3,4767	0,9178
h_a (m)	5,8359	8,1259	1,1925
Pa (kW)	0,01585	0,01793	0,002294
		Total Pa (kW)	0,03608
		Pa (kW-h)	0,2886

ANEXO P

TABLAS PARA LA ELECCIÓN DEL DIÁMETRO NOMINAL Y DIÁMETRO INTERIOR

RDE 21 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI

26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22

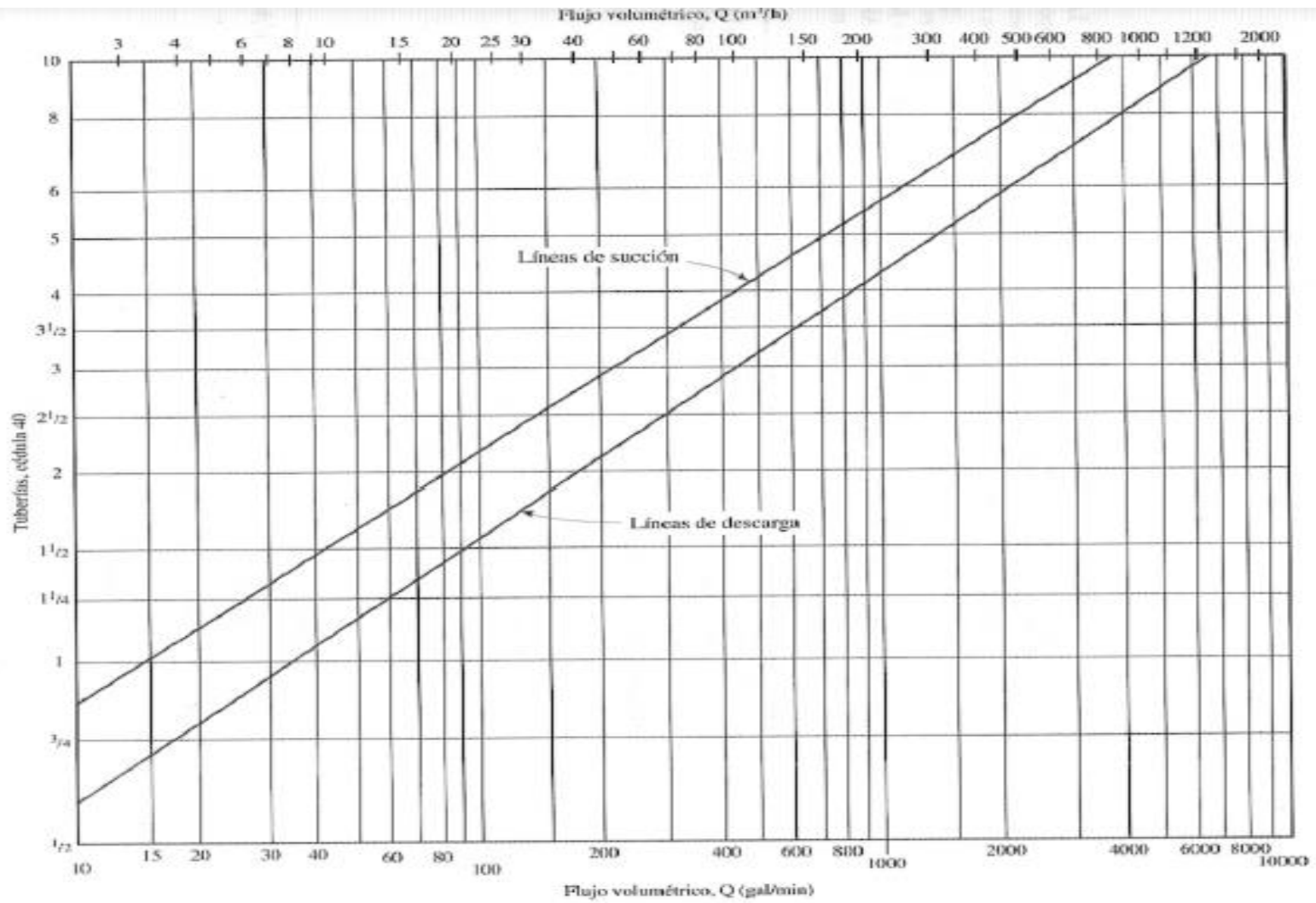
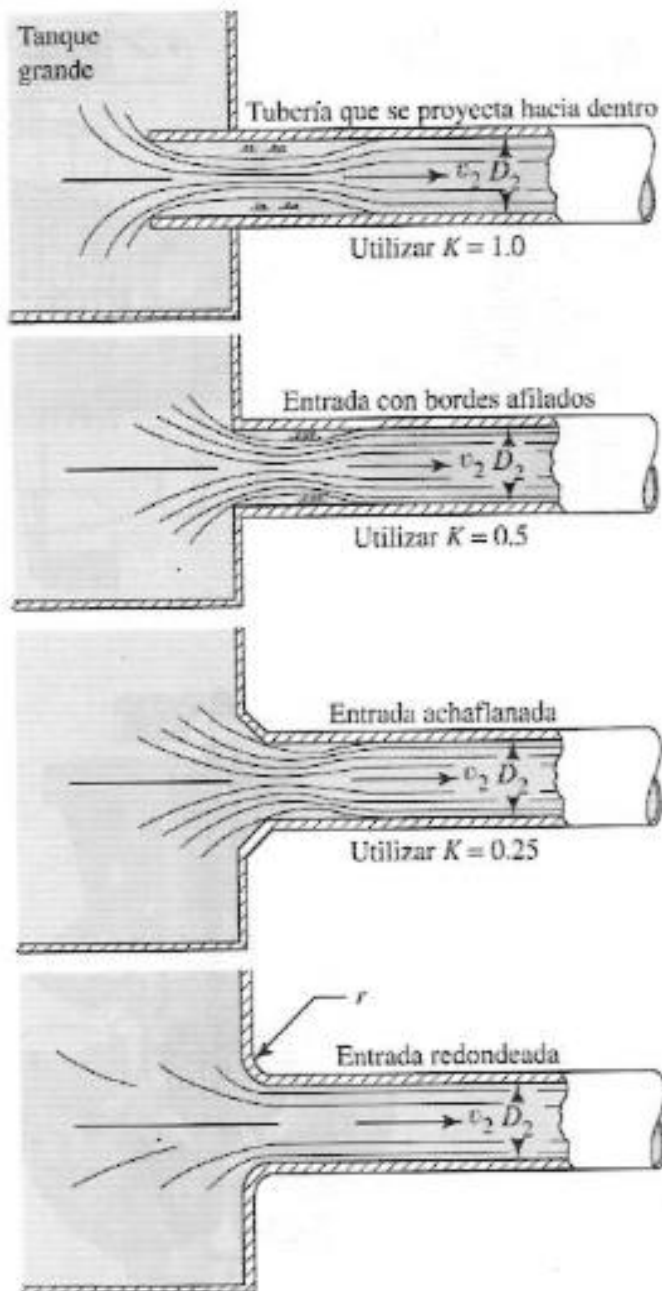


FIGURA 6.2 Ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías.

ANEXO Q
PARÁMETROS DE RUGOSIDAD



r/D_2	K
0	0.50
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
>0.15	0.04 (Bien redondeada)

PÉRDIDAS MENORES

Tipo de singularidad	K
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	5,6
Curva de 90º	1
Curva de 45º	0,4
Válvula de pie	2,5
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1
Ensanchamiento brusco	$(1-(D1/D2)^2)^2$
Reducción brusca de sección (Contracción)	$0,5(1-(D1/D2)^2)^2$