

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA  
EMPLEADA EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA EMPRESA  
IBERPLAST S.A.S**

**VIVIANA ANDREA RAMÍREZ GARCÍA**

**DANIELA ALEJANDRA TOVAR ROJAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2020**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA  
EMPLEADA EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA EMPRESA  
IBERPLAST S.A.S**

**VIVIANA ANDREA RAMÍREZ GARCÍA  
DANIELA ALEJANDRA TOVAR ROJAS**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2020**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá, Agosto 2020

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

**Dr. Mario Posada García-Peña**

Consejero institucional

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. María Claudia Aponte González**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro**

Secretaria General

**Dra. Alexandra Mejía Guzmán**

Decano de la Facultad de Ingenierías

**Ing. Julio César Fuentes Arismendi**

Director de la Programa de Ingeniería Química

**Ing. Iván Ramírez Marín**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

*Dedicamos la culminación de este proceso a nuestros padres Lina García, Adriana Rojas, Fernando Ramírez y Fabio Tovar quienes fueron el apoyo y motor para llegar a este momento. Les recordamos lo mucho que los amamos y les agradecemos todo lo que hicieron por nosotras para que lográramos cumplir este objetivo que es un logro para todos nosotros.*

*A nuestros amigos quienes fueron la mejor compañía en todas las circunstancias que se presentaron durante este proceso.*

*A todas aquellas personas que conformaron el cuerpo académico que nos formaron como personas e inspiraron en nuestra profesión.*

*A mi compañera Viviana Ramírez por ser mi amiga y la mejor compañera durante todo este largo camino.*

*A mi gran compañera y amiga Daniela Tovar por ser incondicional y por su absoluto apoyo en esta etapa de la vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la empresa Iberplast S.A.S por confiar en nosotras para este proyecto, por abrirnos sus puertas, permitirnos el uso de sus instalaciones y brindarnos el apoyo de su personal para el desarrollo de este proyecto.

Agradecemos especialmente al área de ambiental de la compañía por su apoyo, colaboración y guía en todo este proceso.

A la Ing. Raíza Rodríguez e Ing. Geraldine Angulo por su amabilidad, diligencia y especial ánimo al desarrollo de este proyecto.

Finalmente agradecemos al Ing. Fernando Moreno por su acompañamiento y asesoría para la ejecución, elaboración y finalización de este proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	23
<b>OBJETIVOS</b>	24
<b>1. MARCO DE REFERENCIA</b>	25
1.1 MARCO TEÓRICO	25
1.1.1 Propiedades químicas del agua de enfriamiento.	25
1.1.2 Problemas del agua de enfriamiento	26
1.1.3 Tipos de sistema de agua de enfriamiento.	27
1.1.3.1 Sistemas de un solo paso.	27
1.1.3.2 Sistemas de recirculación abiertos.	28
1.1.3.3 Sistemas de recirculación cerrados.	28
1.1.4 Tipos de tratamientos de sistemas de agua de enfriamiento.	28
1.1.4.1 Tratamientos de eliminación de materia en suspensión.	29
1.1.4.3 Tratamientos biológicos.	30
1.1.4.4 Tratamientos preliminares.	30
1.1.4.5 Tratamientos primarios	31
1.1.4.6 Tratamientos secundarios	32
1.1.4.7 Tratamientos terciarios	32
1.1.4.8 Parámetros de selección del tratamiento para un agua de refrigeración.	36
1.2 MARCO LEGAL	33
<b>2. DIAGNÓSTICO</b>	35
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	35
2.1.2 Descripción de los procesos productivos.	35
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	36
2.3 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DEL AGUA	37



2.4 DIAGNOSTICO ACTUAL	47
<b>3. METODOLOGIA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>57</b>
3.1 DETERMINACIÓN DE MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN	57
3.1.1 Test de jarras.	60
3.1.2 Selección teórica de coagulantes.	61
3.1.3 Selección teórica de floculantes.	63
3.1.4 Selección final de reactivos.	65
3.2 REACTIVOS Y EQUIPOS	67
3.3 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	68
3.4 MUESTREO	71
3.5 METODOLOGÍA	72
<b>4. INGENIERIA CONCEPTUAL</b>	<b>78</b>
4.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	78
4.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	80
4.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA	82
4.3.1 Diagramas alternativa seleccionada	82
4.3.2 Desbaste.	83
4.3.3 Dosificación para test de jarras.	84
4.3.4 Tanque homogeneizador.	84
4.3.5 Tanque clarificador.	88
4.3.6 Filtro.	91
4.3.7 Diagrama de equipos y flujos de la alternativa seleccionada	96
<b>5. ESTIMACIÓN DE COSTOS</b>	<b>98</b>
5.1. COSTOS DE INVERSIÓN	98
5.2. COSTOS DE OPERACIÓN	99
5.2.1. Costos de insumos.	99
5.2.2. Costos de mano de obra.	99
5.2.3. Costo total de operación.	100

<b>6. CONCLUSIONES</b>	102
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	103
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	104
<b>ANEXOS</b>	104

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Resultados promedio por máquina (04/01/2019 - 06/09/2019) en cada una de las variables propuestas.	41
<b>Tabla 2.</b> Registro promedio de pH de las áreas intervenidas	42
<b>Tabla 3.</b> Registro promedio de Conductividad en las áreas intervenidas	43
<b>Tabla 4.</b> Registro promedio de dureza en las áreas intervenidas	44
<b>Tabla 5.</b> Registro promedio de Hierro en las áreas intervenidas	45
<b>Tabla 6.</b> Registro promedio de Turbidez en las áreas intervenidas	47
<b>Tabla 7.</b> Criterios de selección, relevancia de parámetros en el tratamiento a seleccionar.	58
<b>Tabla 8.</b> Matriz de selección, relevancia de parámetros.	59
<b>Tabla 9.</b> Comparación del comportamiento de las variables fisicoquímicas en el conjunto de clarificación utilizando dos coagulantes	63
<b>Tabla 10.</b> Agentes coagulantes y floculantes utilizados en cada tratamiento.	65
<b>Tabla 11.</b> Resultados obtenidos de la selección del conjunto de agentes reactivos a implementar.	66
<b>Tabla 12.</b> Volúmenes de coagulante para el test de jarras	69
<b>Tabla 13.</b> Especificación de dosis de coagulante para el desarrollo experimental	70
<b>Tabla 14.</b> Volúmenes de floculante para el test de jarras	70
<b>Tabla 15.</b> Especificación de dosis de floculante para el desarrollo experimental	71
<b>Tabla 16.</b> Combinaciones de Volúmenes de coagulante y floculante para el test de jarras	72
<b>Tabla 17.</b> Parámetros iniciales de cada muestra y réplica	74
<b>Tabla 18.</b> Parámetros finales de cada muestra y réplica	75
<b>Tabla 19.</b> Datos experimentales representados en porcentaje de disminución	76
<b>Tabla 20.</b> Ponderación de criterios de selección alternativas de tratamiento	81
<b>Tabla 21.</b> Matriz de selección alternativa de tratamiento.	81
<b>Tabla 22.</b> Volumen de solución de reactivos para la alternativa I	84
<b>Tabla 23.</b> Cantidad de reactivo en solución de soporte para la alternativa I	84
<b>Tabla 24.</b> Relaciones manejadas para el dimensionamiento del tanque homogeneizador	87
<b>Tabla 25.</b> Valores experimentales de fracción de lodos y tiempo de sedimentación	88
<b>Tabla 26.</b> Descripción y dimensionamiento de equipos.	97
<b>Tabla 27.</b> Estimación de costos de Inversión	98
<b>Tabla 28.</b> Costos de insumos	99
<b>Tabla 29.</b> Costos de mano de obra	100
<b>Tabla 30.</b> Costo total de operación anual.	101

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Características de los sistemas de enfriamiento.	29
<b>Imagen 2.</b> Análisis obtenido en etapa de diagnóstico del sistema general.	48
<b>Imagen 3.</b> Análisis y comparativo obtenido en etapa de diagnóstico entre la terraza técnica y planta.	49
<b>Imagen 4.</b> Análisis obtenido en etapa de diagnóstico del sistema general.	50
<b>Imagen 5.</b> Estado inicial muestras utilizadas para el test de jarras para selección de agentes reactivos.	66
<b>Imagen 6.</b> Resultado test de jarras para la selección de agentes reactivos.	67

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
<b>Ecuación 1.</b> Volumen del tanque homogeneizador.	85
<b>Ecuación 2.</b> Relación altura diámetro.	85
<b>Ecuación 3.</b> Volumen de un cilindro.	85
<b>Ecuación 4.</b> Volumen de un cilindro expresado relación altura diámetro.	85
<b>Ecuación 5.</b> Relación altura diámetro tanque homogeneizador.	86
<b>Ecuación 6.</b> Volumen tanque clarificador.	89
<b>Ecuación 7.</b> Volumen total de lodos.	89
<b>Ecuación 8.</b> Volumen de agua tanque clarificador.	89
<b>Ecuación 9.</b> Diámetro del tanque clarificador.	89
<b>Ecuación 10.</b> Relación altura diámetro.	90
<b>Ecuación 11.</b> Volumen de un cono.	90
<b>Ecuación 12.</b> Caudal.	93
<b>Ecuación 13.</b> Área de filtración.	93
<b>Ecuación 14.</b> Radio del tanque de filtración	94
<b>Ecuación 15.</b> Altura total tanque de filtración.	94

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Caracterización de pH por líneas productivas.	42
<b>Gráfica 2.</b> Caracterización de conductividad por líneas productivas.	43
<b>Gráfica 3.</b> Caracterización de dureza por líneas productivas.	44
<b>Gráfica 4.</b> Caracterización de hierro por líneas productivas.	45
<b>Gráfica 5.</b> Caracterización de turbiedad por líneas productivas.	46
<b>Gráfica 6.</b> Comportamiento de pH entre áreas.	51
<b>Gráfica 7.</b> Comparativo de pH entre líneas.	51
<b>Gráfica 8.</b> Comparativo de conductividad entre áreas.	52
<b>Gráfica 9.</b> Comparativo de conductividad entre líneas.	52
<b>Gráfica 10.</b> Comparativo de dureza entre áreas.	53
<b>Gráfica 11.</b> Comparativo de dureza entre líneas.	53
<b>Gráfica 12.</b> Comparativo de presencia de hierro entre áreas.	54
<b>Gráfica 13.</b> Comparativo de presencia de hierro entre líneas.	54
<b>Gráfica 14.</b> Comparativo de turbiedad entre áreas.	55
<b>Gráfica 15.</b> Comparativo de turbiedad entre líneas.	55

## LISTA DE DIAGRAMAS

	<b>pág.</b>
<b>Diagrama 1.</b> Área plástica empresa Iberplast S.A.S.	36
<b>Diagrama 2.</b> Área metálica empresa Iberplast S.A.S.	36
<b>Diagrama 3.</b> Máquinas involucradas en el sistema de refrigeración y puntos de muestreo.	37
<b>Diagrama 4.</b> Procedimiento Test de Jarras según norma NTC 3903.	61
<b>Diagrama 5.</b> Procedimiento Test de Jarras.	73
<b>Diagrama 6.</b> Alternativas de tratamiento	80
<b>Diagrama 7.</b> Diagrama de flujo alternativa seleccionada.	82
<b>Diagrama 8.</b> Diagrama rejilla para desbaste.	83
<b>Diagrama 9.</b> Dimensionamiento tanque homogeneizador.	88
<b>Diagrama 10.</b> Dimensionamiento tanque clarificador.	91
<b>Diagrama 11.</b> Dimensionamiento tanque de filtración.	95
<b>Diagrama 12.</b> Diagrama de flujos y equipos para la alternativa de tratamiento seleccionada.	96

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Especificación de máquinas involucradas en el sistema de refrigeración y su función.	38
<b>Cuadro 2.</b> Reactivos utilizados en el desarrollo experimental	67
<b>Cuadro 3.</b> Equipos utilizados para el desarrollo experimental.	68
<b>Cuadro 4.</b> Tipos de filtros.	92
<b>Cuadro 5.</b> Características de lechos filtrantes.	92



## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Hoja técnica husky	107
<b>Anexo B.</b> Hoja de seguridad clarifier cb-176	114
<b>Anexo C.</b> Hoja de seguridad floaid-pa30	119
<b>Anexo D.</b> Cotización tanques metalnox s.a.s	124
<b>Anexo E.</b> Cotización tanques botella PAVCO-WAVIN Colombia	125
<b>Anexo F.</b> Costo floid pa-030	126
<b>Anexo G.</b> Costo clarifier cb-176	127
<b>Anexo H.</b> Cotización tanque lodos y rejilla INDEPACK	128
<b>Anexo I.</b> Cotización rejilla grupo TÉCNICO EMPRESARIAL S.A.S	129

## LISTA DE ABREVIATURAS

**cm:** Centímetro

**D:** Diámetro del tanque.

**d:** Largo paletas agitador.

**h:** Altura tanque.

**L:** Litro

**m:** Altura de las paletas.

**mL:** Mililitro

**mm:** Milimetro

**MPA:** Mils por año

**NTU:** Unidades nefelométricas de turbidez

**r:** Radio tanque.

**rpm:** Revoluciones por minuto

**s:** Ancho disco central agitador.

**T.T:** Terraza técnica

**w:** Alto paletas agitador.

## GLOSARIO

**AGUA DE REFRIGERACIÓN:** fluido utilizado como medio de transferencia de calor de uso industrial para remover calor no deseado de procesos, utilizada por su capacidad calórica y su fácil acceso<sup>1</sup>.

**COAGULACIÓN:** se entiende como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas, llamados coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a una agitación muy intensa para formar una solución homogénea en el menor tiempo posible<sup>2</sup>.

**CONDUCTIVIDAD:** indica la cantidad de minerales y gases disueltos en el agua, que tienen la capacidad de conducir electricidad. El rango de conductividad en el que el sistema de tratamiento funciona dependerá del diseño, las características y el tipo de programa químico<sup>3</sup>

**DESBASTE:** es una operación por medio de la cual se eliminan sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastra el agua a tratar. el equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm<sup>4</sup>.

**DUREZA:** cantidad de minerales de calcio y magnesio presentes en el agua, y los niveles de esta están asociados con la tendencia a formar incrustaciones<sup>5</sup>.

**FLOCULACIÓN:** consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico superior al del agua<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> GLACIAR INGENIERÍA S.A.S. Enfriamiento de agua industrial. Colombia: DMLN. 25 de Abril del 2018. [Consultado: 30 de junio del 2020]. Disponible en: <https://glaciaringeneria.com.co/enfriamiento-de-agua-industrial/>

<sup>2</sup> RESTREPO, Hernán. Evaluación del proceso de coagulación - floculación de una planta de tratamiento de agua potable [en línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2009. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/877/>

<sup>3</sup> QUINTERO, Ángel. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida, Quindío.2007. [en línea] [Consultado: 22 de agosto de 2019]. Disponible en Internet: <http://bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>

<sup>4</sup> FERNANDEZ, Antonio, et al. Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales . p. 18-24

<sup>5</sup> QUINTERO, Ángel. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida, Quindío.2007. [en línea] [Consultado: 22 de agosto de 2019]. Disponible en Internet: <http://bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>

<sup>6</sup> *Ibíd.*, p. 10

**FLÓCULO:** compuesto insoluble que absorbe materia coloidal formado de un conjunto aglutinado de pequeñas partículas en conjuntos de partículas más grandes con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico y biológico<sup>7</sup>.

**SEDIMENTACIÓN:** esta operación unitaria mediante la fuerza de la gravedad hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente y se deposite en el fondo del sedimentador. La eficiencia de esta operación depende de factores como el tamaño y densidad de las partículas a sedimentar<sup>8</sup>.

**SISTEMA DE TRATAMIENTO:** es referente al conjunto de operaciones que tienen como objetivo modificar las características físicas, químicas o biológicas de un residuo para reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contiene, recuperar materias o sustancias valorizables y/o facilitar el uso como fuente de energía<sup>9</sup>.

**TECNOLOGIAS CONVENCIONALES:** son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años y aun así no han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar aguas industriales, estas tecnologías se suelen clasificar en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico)<sup>10</sup>.

**TRATAMIENTO PRIMARIO:** referente al tratamiento que se encarga de la eliminación de materia en suspensión cuyas operaciones son las que se efectúan en primer lugar y por medio de operaciones mecánicas con la utilización en algunos casos la adición de aditivos químicos<sup>11</sup>.

**TURBIDEZ:** es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, es considerada una buena medida de la calidad del agua<sup>12</sup>.

---

<sup>7</sup> AGUAMARKET, Diccionario [Sitio Web]. [Consultado: 30 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=992&termino=fl%F3culo>

<sup>8</sup> FERNANDEZ, Antonio, et al. Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales . p. 18-24

<sup>9</sup> MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO: Sistemas de Tratamiento [Sitio Web]. Flujos de Residuos. [Consultado: 30 de Junio del 2020]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/>

<sup>10</sup> FERNÁNDEZ- ALBA, Antonio. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: Informe de Vigilancia tecnológica [informe en línea], vt, no. 2 (2006). [Consultado el 20 de mayo de 2020].

<sup>11</sup> Ibid. P 17.

<sup>12</sup> LEENTECH. Turbidez [Sitio Web] Países Bajos. [Consultado: 30 de Junio del 2020]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/turbidez.htm>

## RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad desarrollar una alternativa de tratamiento para el agua empleada en el sistema de refrigeración de la empresa Iberplast S.A.S, con base en la responsabilidad socio-ambiental que tiene la compañía con el cuidado y adecuado uso de los recursos naturales.

Para la etapa de diagnóstico en primer lugar se realizó un análisis de los datos históricos con los que contaba la compañía, donde se determinó que parámetros tales como dureza, presencia de hierro y turbidez presentaban valores elevados y fuera de los límites establecidos por la compañía. Estos resultados se relacionaron con algunos problemas de taponamiento por partículas disueltas en el agua que habían presentado las máquinas involucradas con el sistema de refrigeración. Adicionalmente se realizó un diagnóstico representativo del sistema desde un micro hasta un macro nivel.

Con un diagnóstico completo se procedió a seleccionar como parámetros claves la turbidez, el pH y la presencia de hierro y con base a esto se planteó como tratamiento principal la coagulación y floculación ya que durante estos procesos se genera la aglomeración y sedimentación de partículas disueltas presentes en un medio acuoso, disminuyendo factores como la turbidez y presencia de hierro que son claves en este proyecto.

Finalmente se llevó a cabo la ingeniería conceptual del tratamiento, esta etapa se basó en el planteamiento de todas aquellas operaciones unitarias adicionales al tratamiento principal elegido que permitieran la captación, tratamiento y posterior recirculación del agua en lotes. De esta manera mientras un lote de agua está en funcionamiento ya mencionado, el lote adicional está recibiendo tratamiento y acondicionamiento para reemplazar al primero cuando este termine su ciclo. Para esta propuesta también se realizó el presupuesto necesario para implementación y operación de la misma.

**PALABRAS CLAVES:** turbidez, presencia de hierro, solidos suspendidos, floculación, coagulación, sistema de refrigeración, filtración, sedimentación.

## **ABSTRACT**

This project aims to develop an alternative treatment for the water used in the cooling system of the company Iberplast S.A.S, based on the social and environmental responsibility that the company has with the care and proper use of natural resources.

For the diagnosis stage, first an analysis of the historical data available to the company was carried out, where it was determined that parameters such as hardness, presence of iron and turbidity presented high values and outside the limits established by the company. These results were related to some problems of clogging by particles dissolved in the water that had presented the machines involved with the cooling system. Additionally, a representative diagnosis of the system was made from a micro to a macro level.

With a complete diagnosis, turbidity, pH and the presence of iron were selected as key parameters, and based on this, coagulation and flocculation were proposed as the main treatment, since during these processes agglomeration and sedimentation of dissolved particles present in an aqueous medium is generated, reducing factors such as turbidity and the presence of iron, which are key to this project.

Finally, the conceptual engineering of the treatment was carried out. This stage was based on the planning of all those additional unitary operations to the main treatment chosen that would allow the collection, treatment and subsequent recirculation of the water in batches. In this way, while a batch of water is in operation, the additional batch is being treated and conditioned to replace the first one when it finishes its cycle. The necessary budget for the implementation and operation of this proposal was also made.

**KEY WORDS:** turbidity, presence of iron, suspended solids, flocculation, coagulation, cooling system, filtration, sedimentation

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una propuesta de tratamiento para el agua que emplea la empresa Iberplast S.A.S en el sistema de refrigeración para sus líneas de inyección de preforma, inyección de cajas de bajo gramaje y soplado; Iberplast por su gran trayectoria, reconocimiento y responsabilidad cuenta con un serie de compromisos a nivel social y ambiental, basados en la incorporación de estrategias tendientes a la fabricación de productos amigables con el ambiente, consumo sostenible del agua y la energía, reducción, reutilización, reciclaje y disposición de los residuos generados y un cumplimiento a cabalidad del marco legal,, en la actualidad la compañía tiene como meta la utilización de 34 litros de agua por tonelada producida.

La compañía ha detectado problemas con el sistema de refrigeración debido a las condiciones que adquiere el agua después de su reciclo, esta detección se hizo a partir de sus indicadores ambientales donde se constata la eficiencia hídrica antes mencionada a la que en el primer semestre de 2019 se ha visto imposible llegar, pues el promedio para ese semestre fue de 70,520 L por Tonelada Producida, los análisis realizados al agua en cuestión por parte de la compañía establecen que la presencia de hierro en el agua de refrigeración aumento un 26% de Julio a Septiembre reportan, estos valores se encuentran por encima de la especificación crítica para los equipos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para el sistema de tratamiento del agua utilizada en el sistema de refrigeración de la empresa Iberplast S.A.S

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diagnosticar el estado actual del agua utilizada para el sistema de refrigeración de la empresa Iberplast S.A.S
- Seleccionar la alternativa del sistema de tratamiento a partir de los resultados obtenidos del desarrollo experimental del mismo.
- Diseñar la ingeniería conceptual para la alternativa seleccionada.
- Analizar los costos de la implementación y ejecución del sistema de tratamiento.



## 1. MARCO DE REFERENCIA

Para este capítulo se establecerá una base conceptual y teórica sobre las principales temáticas en las que se ve involucrada esta propuesta de tratamiento basándose en un marco teórico y un marco legal. Mediante esta búsqueda bibliográfica se busca ofrecer al lector una contextualización sobre el estado del arte del tema, facilitar la identificación de estrategias para abordar el problema identificado y facilitar la interpretación de los resultados.

### 1.1 MARCO TEÓRICO

El agua tiene muchas virtudes que a nivel industrial le permiten ser un excelente refrigerante, pues es normalmente abundante, de fácil manejo, se puede transportar grandes cantidades de calor por unidad de volumen, es incompresible y tampoco se descompone.

La fuente principal de agua de reposición para los sistemas de agua de enfriamiento son las aguas superficiales, como los arroyos y ríos, o aguas de pozos. Pero debido a las consideraciones ambientales y el costo del agua utilizable; en varios contextos; algunas plantas usan agua de mar (Si hay opción) y/o aguas residuales como fuentes de agua de enfriamiento.

#### 1.1.1 Propiedades químicas del agua de enfriamiento.

- Conductividad: indica la cantidad de minerales y gases disueltos en el agua, que tienen la capacidad de conducir electricidad. El rango de conductividad en el que el sistema de tratamiento funciona dependerá del diseño, las características y el tipo de programa químico<sup>13</sup>.
- pH: indica la acidez o basicidad del agua en una escala de 0 (Máxima acidez) a 14 (Máxima basicidad), este control es importante para el sistema de enfriamiento, pues cuando el pH está por debajo de los rangos recomendados la probabilidad de corrosión aumenta, y cuando este está por encima la probabilidad de formación de incrustaciones aumenta.
- Dureza: cantidad de minerales de calcio y magnesio presentes en el agua, y los niveles de esta están asociados con la tendencia a formar incrustaciones.

---

<sup>13</sup> QUINTERO, Ángel. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida, Quindío.2007. [en línea] [Consultado: 22 de agosto de 2019]. Disponible en Internet: <http://bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>

### 1.1.2 Problemas del agua de enfriamiento.

- **Corrosión:** es un proceso electroquímico por el cual los metales procesados, como el acero, cobre y zinc retornan a su estado natural, como compuestos químicos o minerales. El acero dulce es el metal más comúnmente usado en sistemas de agua de enfriamiento, por ser un metal muy susceptible a la corrosión, en presencia de agua y oxígeno retornará a su estado natural de óxido de hierro. La corrosión causa fallas prematuras en los metales y los productos de la corrosión se depositan en el sistema y disminuyen tanto la transferencia de calor como el flujo de agua de enfriamiento<sup>14</sup>. Los niveles de corrosión se expresan como pérdida de metal en mils por año (MPA). En un sistema de agua de enfriamiento una pérdida aceptable, por corrosión, puede ser de 10-15 MPA. Las características del agua que tienen mayor influencia para este aspecto son: los sólidos suspendidos por acción erosiva o abrasiva; sólidos disueltos por incremento de la conductividad eléctrica del agua; la temperatura; la actividad microbiológica y la acidez que puede disolver la película de óxido que protege la superficie del metal.
- **Incrustación:** son un recubrimiento denso de material predominante inorgánico, formado por la precipitación química inducida de constituyentes solubles en el agua, que se vuelven insolubles por aumento de la temperatura, lo cual causa un exceso en el producto de solubilidad de algún constituyente del sistema. Las incrustaciones interfieren con la transferencia de calor y disminuyen el flujo de agua de enfriamiento. Las incrustaciones más comunes están formadas por Carbonato de calcio, Fosfato de calcio, Sales de magnesio y Sílice. Las propiedades del agua de enfriamiento que más afectan a este parámetro son: el pH, la temperatura y la cantidad de material disuelto, estos afectan principalmente en la solubilidad de las incrustaciones más comunes haciendo que se depositen algunas o que se vuelvan más solubles.
- **Ensuciamiento:** es la acumulación de materiales sólidos, diferentes de las incrustaciones, que se producen debido al depósito de partículas que se fijan en algún punto del sistema, donde la velocidad del agua de enfriamiento disminuye a un nivel tan bajo, que no es capaz de arrastrar el material en el flujo. Estos depósitos impiden la operación del equipo de planta o contribuyen a su deterioro. Los materiales más comunes, que producen ensuciamiento son el polvo y cieno, la arena, productos de corrosión y los orgánicos naturales, masas microbiológicas, fosfatos de aluminio y hierro. Las características del agua de enfriamiento que más afectan el ensuciamiento son la velocidad del flujo de agua, con una gran disminución ocurre por el asentamiento natural del material en suspensión, generalmente a velocidades altas se puede evitar que

---

<sup>14</sup> FERNÁNDEZ- ALBA, Antonio. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: Informe de Vigilancia tecnológica [informe en línea], vt, no. 2 (2006). [Consultado el 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/9396/10617/>.

se depositen los sólidos suspendidos; o los materiales que pueden llegar como contaminación del proceso que se pueden depositar como productos insolubles, siendo suministro de nutrientes para microorganismos aportando a su crecimiento o reaccionando con los inhibidores de corrosión o incrustaciones que se puedan utilizar en el tratamiento.

- **Contaminación Microbiológica:** es el crecimiento incontrolado de microorganismos, que puede conducir a la formación de depósitos, los cuales contribuyen al ensuciamiento, a la corrosión y a la formación de incrustaciones. El limo microbiológico es una masa de organismos microscópicos y productos residuales que se forman sobre las tuberías y que interfieren con la transferencia eficiente de calor. Aquellos limos son usualmente caracterizados por su textura viscosa y pueden ser animales o vegetales. Algunos organismos no crean depósitos de limo y no promueven la corrosión del metal. La presencia de gran número de aquellos organismos no perjudiciales sin embargo indica que hay condiciones ideales para el crecimiento de organismos perjudiciales. Tanto las fuentes de agua de reposición, viento e insectos pueden acarrear microorganismos dentro del sistema de agua de enfriamiento. Las características del agua de enfriamiento que influyen en el crecimiento de microorganismos son la temperatura y la humedad<sup>15</sup>.

1.1.3 Tipos de sistema de agua de enfriamiento. Existen dos tipos básicos de sistemas de tratamientos de enfriamiento; los de un paso y los re-circulantes, que pueden ser abiertos o cerrados.

1.1.3.1 **Sistemas de un solo paso.** El agua de enfriamiento pasa a través de un equipo de intercambio de calor solo una vez. Por el uso de grandes volúmenes de agua de enfriamiento que son usados, la temperatura del agua en el efluente se incrementa sólo ligeramente y el contenido mineral del agua de enfriamiento permanece sin cambio prácticamente al pasar a través del sistema.

Este sistema se usa cuando existe disponibilidad de gran cantidad de agua y el tratamiento puede ser mínimo o incluso nulo.

Para el agua que ha sido tratada en algunos de estos sistemas, se usa primero en equipos que requieran menor temperatura, y el agua de salida de esos equipos alimenta a equipos que requieran temperaturas más altas, siendo el agua empleada como alimentación de calderas o agua de proceso, ahorrando energía<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> TERMO, Elias. Agua para torres de enfriamiento.[Documento en línea] Wordpress. [Consultado el 24 de Agosto del 2019] Disponible en: <https://termoelias.files.wordpress.com/2008/08/2-2-4-3-agua-para-torres-de-enfriamiento.doc>

<sup>16</sup> *Ibíd.* Párrafo 6

1.1.3.2 Sistemas de recirculación abiertos. En los sistemas re circulantes el agua de enfriamiento se vuelve a utilizar en forma continua, en los sistemas de recirculación abierta, denominados también sistemas evaporativos, el contenido mineral del agua aumenta y tiene lugar la aireación continua.

Estos sistemas son los más ampliamente usados en el diseño de enfriamiento industrial, consiste de bombas, intercambiadores de calor y torres de enfriamiento. Las bombas mantienen el agua circulando a través de los intercambiadores de calor, donde retiran calor; y de la torre de enfriamiento donde el calor es liberado del agua a través de la evaporación. Debido a la evaporación, que es la disminución del volumen inicial de agua, el agua en los sistemas de agua de enfriamiento abiertos, sufre un incremento en su contenido químico y por lo tanto es tratada con un método químico.

Estos sistemas son empleados en instalaciones de gran capacidad que disponen de un suministro suficiente de agua para la refrigeración, generalmente situadas junto a una masa de aguas superficiales que sirve como receptor de vertido si es el caso, cuando el suministro de agua no es fiable se utilizan sistemas con recirculación. Por esta razón es necesario el máximo aprovechamiento de esta, justificando entonces el uso de torres de enfriamiento con ventiladores de tiro forzado o natural<sup>17</sup>.

1.1.3.3 Sistemas de recirculación cerrados. Este sistema usa la misma agua de enfriamiento repetidamente en un ciclo continuo, por eso tienen poca pérdida de agua y el contenido mineral es por lo general constante. Primero, el agua absorbe calor del fluido del proceso y luego lo libera en otro intercambiador de calor. Este sistema emplea para el tratamiento de máquinas de diésel o de combustión interna; estos sistemas no incluyen una torre de enfriamiento evaporativa, pero si usan un tratamiento químico<sup>18</sup>.

1.1.4 Tipos de tratamientos de sistemas de agua de enfriamiento. El objetivo de hacer un tratamiento al agua es reducir y controlar el nivel de contaminantes que puedan existir, evitando problemas no solo ambientales y cumpliendo así la normatividad requerida, sino también garantizando la calidad según los parámetros internos de cualquier proceso.

Los tratamientos se realizan generalmente por etapas; Preliminares, primarias, secundarias y terciarias, en función del fundamento del tratamiento (Químico,

---

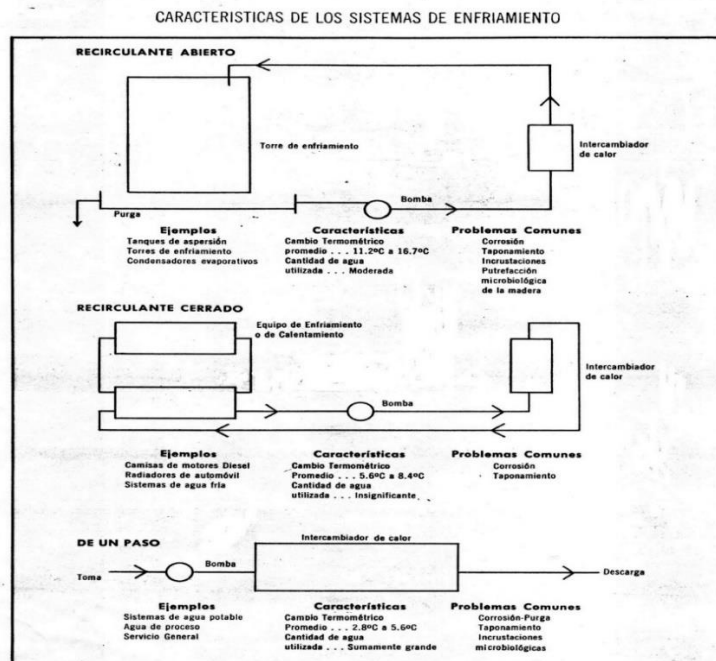
<sup>17</sup> MERUS. Sistema Abierto de Agua de Refrigeración [Recurso en línea]. 2019. [Consultado el 22 de agosto de 2019]. Disponible en < [https://www.merus.es/sistema-abierto\\_agua-refrigeracion/](https://www.merus.es/sistema-abierto_agua-refrigeracion/)>

<sup>18</sup> TERMO, Elias. Agua para torres de enfriamiento.[Documento en línea] Wordpress. [Consultado el 24 de Agosto del 2019] Disponible en: <https://termoelias.files.wordpress.com/2008/08/2-2-4-3-agua-para-torres-de-enfriamiento.doc>

Físico, Físico-Químico); o también en función de los contaminantes presentes. En un intento de unificar la clasificación se puede considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o material disuelta<sup>19</sup>.

1.1.4.1 Tratamientos de eliminación de materia en suspensión. La materia en suspensión puede ser desde partículas de varios centímetros y muy densas, generalmente inorgánicas, hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de pocos nanómetros de naturaleza normalmente orgánica. La concentración de estos en el agua con y sin tratamiento es fundamental para la elección del tratamiento más conveniente. Las operaciones para este tipo de contaminante suelen ser las que primero se efectúan, y se hace por medio de operaciones mecánicas, que implican en algunos casos, para favorecer la separación, la utilización de aditivos químicos, definiendo así estos, como tratamiento físico-químicos. Algunos son: desbaste, sedimentación, filtración, flotación, coagulación- floculación; especificados más adelante.

**Imagen 1.** Características de los sistemas de enfriamiento.



**Fuente:** ZARATE, Fernando. Sistemas De Enfriamiento De Agua. [Documento en línea] Veracruz, México. 2008. p 11 [Consultado el día 18 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://termoelias.files.wordpress.com/2008/08/2-2-3-sistemas-de-enfriamiento-de-agua.doc>

<sup>19</sup>FERNÁNDEZ- ALBA, Antonio. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: Informe de Vigilancia tecnológica [informe en línea], vt, no. 2 (2006). [Consultado el 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/9396/10617/>

1.1.4.2 Tratamientos para la eliminación de materia disuelta. Para este tipo de materia también las características y las concentraciones son muy diversas, desde salmueras, materia orgánica biodegradable en industria de alimentación, como cantidades extremadamente pequeñas de inorgánicos, como metales pesados o pesticidas orgánicos.

Estos tratamientos de eliminación son más que necesarios dado su carácter peligroso, merecen mayor atención pues algunos de los tratamientos son sustituidos o desplazados por otros más avanzados y emergentes. Entre ellos se encuentran: la precipitación, procesos electroquímicos, intercambio iónico, adsorción, desinfección, etc.

1.1.4.3 Tratamientos biológicos. Estos constituyen una serie de procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos, las bacterias como destacadas principales, para llevar a cabo la eliminación de los componentes indeseables del agua aprovechando la actividad metabólica de las mismas. Tradicionalmente consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable soluble y coloidal, la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes; en la mayoría de los casos la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan para su crecimiento los MO, pero se debe garantizar también la presencia de nutrientes que contienen N y P y para los sistemas aerobios, el oxígeno disuelto en el agua. Los tratamientos son generalmente: Sistemas aerobios, sistemas anaerobios, sistemas anódicos, los procesos biológicos de eliminación de nutrientes.

1.1.4.4 Tratamientos preliminares. Son métodos de separación mecánicos que se pueden aplicar a mezclas heterogéneas, basados principalmente en diferencias físicas entre las partículas retirando la mayor cantidad de partículas sólidas de gran tamaño, que no se pueden tratar en una PTAR, las operaciones que se pueden realizar son:

- Filtración: separación de partículas sólidas o semisólidas que se encuentran suspendidas en un fluido al pasar a través de un medio poroso, fibroso o granular llamado medio filtrante mediante la aplicación de una fuerza impulsora en un período de tiempo determinado.
- Tamizado: método de separación que se basa en la diferencia de tamaño de partículas, consiste en verter los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas, o finas, y retiene las de tamaños superiores o rechazos de producto.
- Sedimentación: método de sedimentación por gravedad que separa sólidos en suspensión; las partículas más densas que el agua se separan por acción de la gravedad, mientras que las otras muestran tendencia a aglomerarse,

fenómeno que aprovecha para inducir en las partículas difícilmente decantables, en un proceso previo de coagulación.

- Flotación: método basado en la diferencia de densidades. Se pretenden separar aquellos elementos sólidos o líquidos que pueden flotar o son susceptibles de flotar, bajo ciertas condiciones. Es usado para el tratamiento de aguas residuales industriales para remover grasas, aceites y sólidos suspendidos.
- Centrifugación: es una operación física que usa la fuerza centrífuga aplicada al material en suspensión de un líquido, lo que conlleva a la separación de fases líquido sólido. Es aplicado en pequeños caudales y más particularmente en el acondicionamiento de deshidratación de lodos.

1.1.4.5 Tratamientos primarios. Es un proceso de eliminación de sólidos en suspensión disueltos usando tratamientos físicos o fisicoquímicos, las operaciones que se utilizan son principalmente coagulación, floculación y ozonización.

➤ Coagulación: es el proceso de formación de pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente. Desde el punto de vista electrostático, el propósito de la coagulación es reducir la potencial zeta por adición de iones específicos e inducir la desestabilización de las partículas para aglomerarlas.

▪ Tipos de coagulantes

- ❖ Sales de Aluminio: efectivos en un rango de pH, los sulfatos de aluminio que son mayormente utilizados por su disponibilidad en diferentes grados de pureza, bajo costo y fácil manejo, rango de pH 5,8-7,4. Y los coagulantes inorgánicos, PAC's que forman un floc tipo cadena disminuyendo la turbiedad en suspensión, siendo efectivo en el rango total de las sales de aluminio especificado anteriormente.
- ❖ Sales de Hierro: funcionamiento de forma estable en un rango de pH de 3,5-9, produciendo flóculos grandes y densos que decantan rápidamente. Hay de tres tipos: Sulfato Ferroso que se usa generalmente con cal, la reacción se favorece a pH altos, mayores de 8,5; Sulfato Férrico que se necesita en grandes cantidades debido a su bajo peso molecular, pero que se emplean por su bajo costo y su alta velocidad de reacción, son efectivos en un rango de pH de 3.5-7 y mayores de 9; Cloruro Férrico que producen flóculos grandes y densos que decantan con mayor rapidez, pueden producir corrosión y son efectivos en un rango de pH de 3.5-6.5 y mayores de 8.5.

➤ Floculación: Es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado flóculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Operativamente, la floculación se consigue recurriendo a una mezcla moderada y prolongada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico en otras suspendidas, discretas y visibles.

▪ Tipos de floculantes

- ❖ Minerales: el principal es la sílice activa que se usa con sales de aluminio y se favorece la reacción con pH cercanos a 9.
- ❖ Orgánicos: se obtienen a partir de sustancias animales, vegetales o por monómeros sintéticos, se disuelven en agua con facilidad favoreciendo la formación de flóculos; de estos hay de dos tipos: catiónicos, efectivos para un rango de pH entre 4-8; y los aniónicos que son efectivos en un rango de pH de 6-8.

1.1.4.6 Tratamientos secundarios. Permiten eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron y remover las demandas biológicas de oxígeno, pueden ser procesos biológicos en los que actúan microorganismos para la eliminación de materia orgánica del agua residual, estos tratamientos están constituidos en metodología como los tratamientos biológicos mencionados anteriormente.

➤ Tratamiento aerobio: son aquellos en que la biomasa está constituida por microorganismos aerobios consumidores de oxígeno que es el elemento aceptor de electrones que obtienen elevados rendimientos energéticos. El carbono de la materia orgánica disuelta en el agua se convierte parcialmente en CO<sub>2</sub>, provocando una generación importante de Fangos, este tratamiento está condicionado por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.

➤ Tratamiento anaerobio: se descompone la materia orgánica por bacterias en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados; la mayoría de sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano. Este tratamiento constituye una forma eficaz de tratar aguas y residuos de alta carga orgánica, eliminando la materia orgánica y aprovechando la energía de la utilización del metano producido. En algunos casos hay tratamientos mixtos usando tratamientos aerobios y anaerobios de forma consecutiva, alternante o produciendo ambos al mismo tiempo.

1.1.4.7 Tratamientos terciarios. Es un proceso fisicoquímico especial que busca limpiar las aguas de contaminantes específicos como cloro, fósforo, nitrógeno entre otros. Este último tratamiento consigue obtener un agua de mejor calidad, aunque sus procesos pueden ser mucho más costosos, entre ellos se encuentran la osmosis inversa y tratamiento iónico.



1.1.4.8 Parámetros de selección del tratamiento para un agua de refrigeración. Para seleccionar el tratamiento más adecuado para un sistema de agua de enfriamiento se debe tomar en cuenta:

- Volumen del sistema
- Tipo de sistema de enfriamiento
- Características del agua de repuesto
- Cantidad disponible del agua de repuesto
- Demanda estacional
- Metales presentes en el sistema
- Temperatura del agua en el sistema
- Velocidad del agua de recirculación

## 1.2 MARCO LEGAL

1.2.1 Uso Eficiente y Ahorro del Agua-Ley 373 de 1997 Esta ley establece el marco normativo para el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico<sup>20</sup>. En su artículo quinto especifica el rehúso obligatorio de las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental.

Este programa busca asegurar el desarrollo sostenible de la industria, asegurando que no se agoten los recursos naturales renovables en que se sustentan los procesos productivos, ni deterioren el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizar los recursos para la satisfacción de sus propias necesidades.

1.2.2 Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico tiene un horizonte de 12 años (2010- 2022), establece los objetivos y estrategias del país para el uso y aprovechamiento eficiente del agua; el manejo del recurso por parte de autoridades y usuarios; los objetivos para la prevención de la contaminación hídrica, considerando la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos económicos y normativos<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Secretaria de senado. Ley 373 de [en línea].2019. [Consultado: 28 de Julio de 2019]. Disponible en Internet: [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0373\\_1997.htm.pdf](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0373_1997.htm.pdf)

<sup>21</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. [En línea].2019. [Consultado: 28 de Julio de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/direccion-integral-de-recurso-hidrico/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>

Su objetivo principal es Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

1.2.3 Resolución 2674 de 2013. En el artículo 3, sobre abastecimiento de agua especifica que:

“Solamente se permite el uso de agua no potable, cuando la misma no ocasione riesgos de contaminación del alimento; como en los casos de generación de vapor indirecto, lucha contra incendios, o refrigeración indirecta. En estos casos, el agua no potable debe distribuirse por un sistema de tuberías completamente separados e identificados por colores, sin que existan conexiones cruzadas ni sifonaje de retroceso con las tuberías de agua potable.”<sup>22</sup>

Esta resolución es fundamental para constatar que el agua involucrada en el sistema de refrigeración en cuestión no debe cumplir parámetros específicos.

---

<sup>22</sup> MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2674 de 2013 [en línea]. 2013. [Consultado: 28 de Julio de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>

## 2. DIAGNÓSTICO

En el presente capítulo se da una descripción general de la empresa Iberplast S.A.S, de sus procesos productivos y el sistema de refrigeración que se ve involucrado para el desarrollo de este proyecto; posteriormente se realiza una caracterización histórica del agua de dicho sistema con el fin de comparar acertadamente el diagnóstico realizado para el desarrollo de esta propuesta.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa Iberoamericana de plásticos (Iberplast S.A) es una empresa que pertenece a la Organización Ardila Lulle (OAL), se encuentra localizada en el municipio de Madrid, Cundinamarca, sede administrativa y productiva de la compañía. La compañía elabora envases para productos de consumo humanos tales como preformas, tapas plásticas y metálicas, botellones, cajas, servicios de soplado y litografía. Esta compañía fue consolidada en el año de 1989 con una planta que ofrecía servicios de fabricación de botellas PET, botellas PET retornables, inyección de cajas plásticas, tapa plástica y líneas de soplado. Posteriormente en el año 2007 Iberplast se fusiona con Tapas La Libertad momento en el que incorpora los procesos de litografía y elaboración de tapas metálicas<sup>23</sup>.

Por la gran trayectoria, reconocimiento y responsabilidad Iberplast cuenta con una serie de compromisos a nivel social y ambiental, basados en la incorporación de estrategias tendientes a la fabricación de productos amigables con el ambiente, consumo sostenible del agua y la energía, reducción, reutilización, reciclaje y disposición de los residuos generados y un cumplimiento a cabalidad del marco legal aplicable. Consecuente a esto, todos los procesos productivos están en constante evolución con el fin de mejorar la calidad de los productos, la eficiencia de los procesos y reafirmar su compromiso socio-ambiental<sup>24</sup>.

**2.1.2 Descripción de los procesos productivos.** Sus procesos productivos se desarrollan en dos áreas fundamentales:

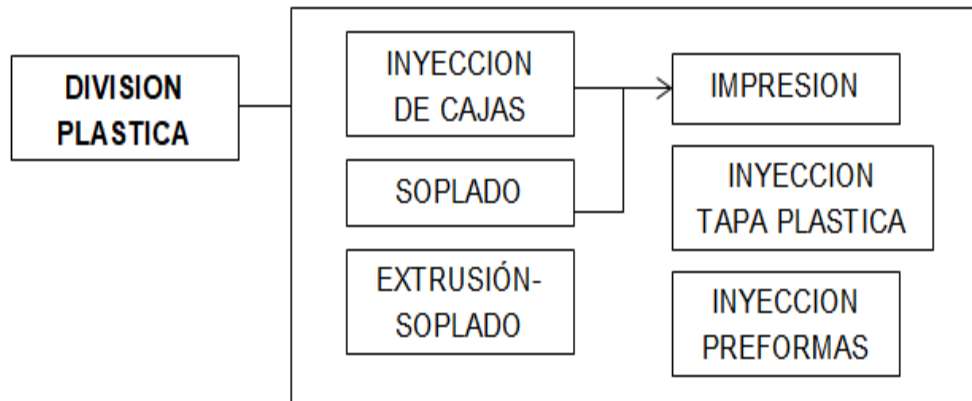
Área plástica: el área plástica está comprendida por las líneas de inyección de preforma, inyección de cajas, compresión y enlaminado de tapa plástica, impresión, soplado y extrusión-soplado para la elaboración de botellones y garrafas. Estos productos son elaborados a partir de resinas plásticas.

---

<sup>23</sup> IBERPLAST S.A.S. IberPlast. [Consultado el 10/02/2020]. Disponible en: <https://www.iberplast.com.co/>

<sup>24</sup> *Ibíd.*

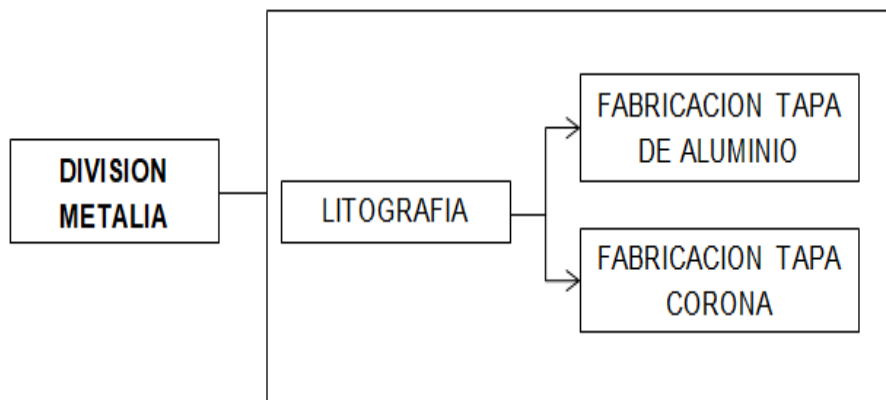
**Diagrama 1.** Área plástica empresa Iberplast S.A.S.



**Fuente:** elaboración propia.

Área metálica: la división metálica produce tapa tipo corona, tipo pilfer y agrafe además la empresa ofrece el servicio de litografía.

**Diagrama 2.** Área metálica empresa Iberplast S.A.S.



**Fuente:** elaboración propia.

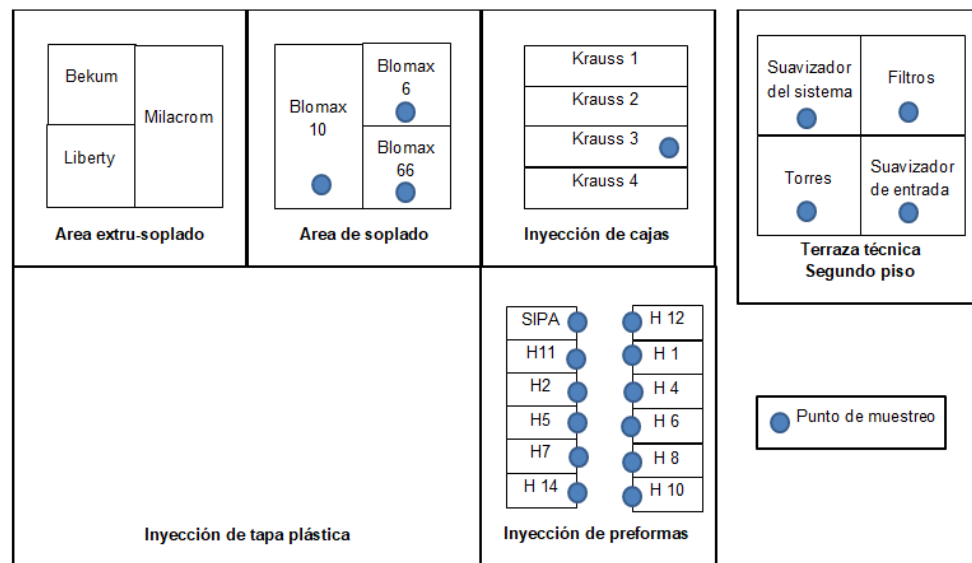
## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El agua del sistema a tratar involucra las líneas de inyección de preformas, inyección de cajas, soplado y soplado-extrusión, su funcionamiento emplea un volumen de alrededor 110 m<sup>3</sup> de agua potable la cual es tratada inicialmente con un filtro de retención de sólidos y un filtro de dureza, después el agua pasa por un Ecodry, el cual es un enfriador adiabático de líquido en circuito cerrado y donde el agua del sistema obtiene las condiciones adecuadas para su operación y por último se

somete a filtración mediante el paso por un filtro de dureza, un filtro B y dos cartuchos de retención de sólidos, de 10 y 5 micras correspondientemente. Terminado el acondicionamiento, el agua se distribuye a todas las líneas anteriormente mencionadas mediante un conjunto de tuberías que comunican a cada uno de los Chillers que se encuentran en las líneas productivas involucradas.

Con este sistema se realiza el enfriamiento de los robots que poseen cada una de las inyectoras de la compañía y adicionalmente en las inyectoras de preformas se encarga de realizar el enfriamiento del aceite hidráulico, tableros neumáticos y sistemas de bombeo; al terminar el ciclo el agua se somete a un filtro de resina catiónica y se recircula al proceso. Debido a que el agua utilizada para refrigeración no tiene contacto directo con el producto no debe cumplir con estándares de agua potable, sin embargo, debe cumplir con parámetros establecidos por especificaciones técnicas internas manejadas por la empresa y requerimientos de las máquinas con las cuales interactúa, base a esto en la actualidad el sistema de refrigeración es tratado por la empresa CHEMAQUA cada 15 días; el sistema de refrigeración en cuestión interconecta las máquinas especificadas en el diagrama 3 cuya función se especifica en la tabla 1.

**Diagrama 3.** Máquinas involucradas en el sistema de refrigeración y puntos de muestreo.



**Fuente:** elaboración propia.

### 2.3 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DEL AGUA

Con el fin de hacer un acertado diagnóstico del estado del agua de refrigeración involucrada para el desarrollo de este proyecto, se realizó una caracterización

histórica de las variables escogidas para el mismo con las mediciones hechas por parte de la planta en el período del 4 de enero del 2019 al 6 de septiembre del mismo año en todos los puntos dónde la compañía hace muestreo del sistema (Diagrama 3), esto con el fin de ver el comportamiento anterior al desarrollo de la propuesta de este proyecto y las medidas implementadas hasta el momento.

**Cuadro 1.** Especificación de máquinas involucradas en el sistema de refrigeración y su función.

<b>Máquina</b>	<b>Función</b>
Suavizador de entrada Torres	Puntos ubicados en la terraza técnica donde se realiza un pretratamiento del agua que ingresa al sistema
Suavizador del sistema	
Filtros	
Husky 1	Máquinas inyectoras de prefomas de distinto gramaje y geometría
Husky 2	
Husky 4	
Husky 5	
Husky 6	
Husky 7	
Husky 8	
Husky 10	
Husky 11	
Husky 12	
Husky 14	
SIPA	
Krauss 1	Máquinas inyectoras de cajas plásticas de bajo gramaje
Krauss 2	
Krauss 3	
Krauss 4	
Blomax 66	Máquinas sopladoras de prefomas
Blomax 10	
Blomax 66	
Liberty	Máquinas para la fabricación de botellones y garrafas mediante el proceso de extrusión y soplado
Bekum	
Milacrom	

**Fuente:** elaboración propia.

Teniendo en cuenta que para el desarrollo del proyecto no se tendrá en cuenta los puntos que involucren la sección de tapa plástica, referente al área de extrusoplado, en las máquinas Liberty, Bekum y Milacrom, ni las que no estén en funcionamiento los días de muestreo (Para ver las especificaciones técnicas de las máquinas con más puntos de muestreo dirigirse al Anexo A).

Las variables importantes para el diagnóstico son las referentes a los aspectos que pueden perjudicar el funcionamiento dentro del sistema, por esto mismo Iberplast ha establecido unos límites internos con apoyo de las especificaciones técnicas de las máquinas, teniendo en cuenta también que el agua del sistema de enfriamiento no tiene que cumplir con alguna reglamentación para operar, dicho esto las variables y sus intervalos límite son:

- pH: 7.5 - 8.5
- Conductividad: para Husky con un valor menor a 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ; y para el resto de líneas el parámetro debe estar por debajo de 3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .
- Dureza: concentración menor a 10 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .
- Hierro: concentraciones menores a 1 mg de Fe/L.
- Turbidez: para esta variable no se tienen límites establecidos por la empresa pero los problemas de calidad del agua están asociados con la acumulación de sedimentos que incrementan la turbidez del agua, entre otras cosas<sup>25</sup> y la identificación de este es primeramente visual. En la caracterización de esta variable se establecen valores límites por medio de bibliografía más adelante.

Para la medición de cada una de estas variables se hizo uso de diferentes instrumentos suministrados por el laboratorio de Gestión Ambiental de la compañía. Estos instrumentos son:

- Medidor de pH digital (LAQUAtwin-pH-11)<sup>26</sup> que reporta el valor de pH con una resolución de 0.1 en unidades de pH con una precisión de  $\pm 0.1$ .
- Medidor de EC Hanna HI 98304 para la medición de conductividad o electroconductividad, la lectura se muestra en milisiemens por centímetro [ $\mu\text{s}/\text{cm}$ ], adicionalmente arroja un valor de temperatura en grados celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ) tiene una resolución de 0.01 y una precisión de  $\pm 2\%$  en la lectura<sup>27</sup>.
- Método de Dropper Bottle<sup>28</sup> para la determinación de la dureza utilizando la botella cuenta gotas, que tiene una resolución de 10 ppm de  $\text{CaCO}_3$  por cada

---

<sup>25</sup> DE SOUSA, Cristina; CORREIA, Angelina y COLMENARES, María Cristina. Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. En: Boletín De Malariología Y Salud Ambiental. vol. 50, no. 2, p. 187-196

<sup>26</sup> LAQUA, Horiba. Medidor de pH LAQUAtwin pH-11 - LAQUA [Water Quality Analyzer Website] – HORIBA. Especificaciones

<sup>27</sup> HANNA, Catálogo. Instrumentación Para La Agricultura. Italia: p. 24.

<sup>28</sup> LAMOTTE. Total Hardness Test Kit - 4482-LI-02 - Industrial Water, Boiling & Cooling – LaMotte. Especificaciones

gota de reactivo que se incorpore a la solución. Para este método no se especifica su precisión ya que los resultados tienen una brecha muy amplia entre cada resultado, además que el valor es determinado por su color.

- Método Color Disc de HACH modelo IR-18<sup>29</sup> para la determinación de hierro, este método tiene una resolución de 0.1 mg Fe/L, no es posible especificar su precisión ya que interfieren varias variables en la medición, cómo lo es la cantidad de luz natural con la que se hace la medición y el clima.
- Turbidímetro portátil modelo TPW para la turbidez, según las especificaciones técnicas tiene una precisión (0-500 NTU) de  $\pm 2\%$  de la lectura o  $\pm 0,01$  NTU, y precisión (500-1100 NTU) de  $\pm 3\%$  de la lectura, con una resolución 0.01 NTU para resultados menores a 100 NTU; de 0.1 NTU para valores entre 100.0 - 999.9 NTU; y de 1 NTU para valores entre 1000-1100 NTU<sup>30</sup>, la calibración de este instrumento se hace en el laboratorio de calidad de la compañía y según el reporte de calibración del 17 de febrero del 2020 se determina una precisión de  $\pm 0.6\%$  en las lecturas mayores a la unidad.

Los resultados promedio, para las áreas involucradas en el desarrollo del presente proyecto, de las mediciones tomadas por la empresa en el intervalo de tiempo anteriormente especificado, y con los equipos ya especificados se presentan en la siguiente tabla:

---

<sup>29</sup> HACH. Kit de prueba de disco de colores para hierro, modelo IR-18 | Hach España - Detalles | Hach. Especificaciones

<sup>30</sup> LTDA, Yareth Químicos. TURBIDIMETRO PORTATIL TPW / TPI HF SCIENTIFIC. [Consultado el May 21, 2020]. Disponible en: [http://www.yarethquimicos.com/Turbidimetro\\_Portatil\\_TPW-TPI\\_HF\\_SCIENTIFIC\\_Yareth\\_Quimicos\\_Ltda.html](http://www.yarethquimicos.com/Turbidimetro_Portatil_TPW-TPI_HF_SCIENTIFIC_Yareth_Quimicos_Ltda.html)



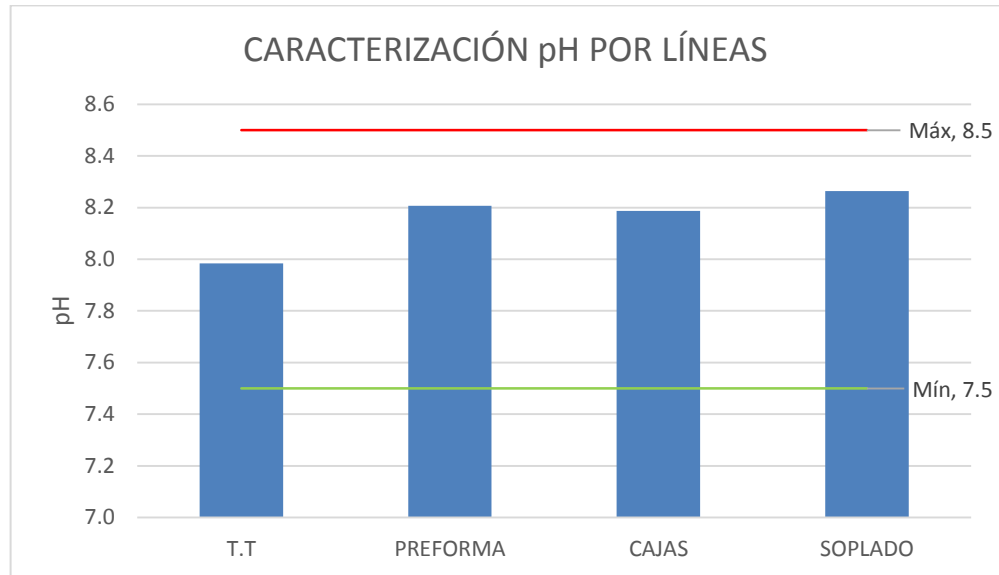
**Tabla 1.** Resultados promedio por máquina (04/01/2019 - 06/09/2019) en cada una de las variables propuestas.

Máquina	pH (UNIDADES)	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Dureza (ppm de $\text{CaCO}_3$ )	Hierro (mg Fe/L)	Turbiedad (NTU)
BLOMAX 10	8.2	350.1	10.0	1.2	29.9
BLOMAX 66	8.2	403.3	10.9	1.0	30.0
BLOMAX6	8.3	433.6	10.5	1.3	42.5
FILTRO	8.2	427.9	10.0	1.2	25.8
HUSKY 1	8.2	402.3	10.8	1.3	41.3
HUSKY 10	8.4	442.2	10.0	1.0	24.9
HUSKY 11	8.3	434.8	10.0	1.2	34.1
HUSKY 12	8.7	464.0	24.2	2.2	40.8
HUSKY 14	8.3	319.1	10.4	1.3	33.3
HUSKY 2	8.3	391.5	11.3	2.4	82.9
HUSKY 4	8.3	406.6	9.6	1.9	42.6
HUSKY 5	8.4	392.5	10.0	2.6	94.4
HUSKY 6	8.4	399.4	10.4	1.2	29.2
HUSKY 7	8.4	434.8	10.8	1.0	26.1
HUSKY 8	8.4	418.2	10.0	1.0	23.1
HUSKY 9	7.1	270.9	11.3	0.3	10.5
KRAUS 1	8.2	301.8	10.0	2.6	80.6
KRAUS 2	8.2	376.2	11.7	2.5	75.0
KRAUS 3	8.2	406.7	15.0	3.0	87.3
KRAUS 4	8.3	402.1	11.1	2.7	62.6
SIPA	7.6	384.1	14.4	0.7	15.2
SUAV. ENTRADA	7.8	250.6	4.6	0.2	3.9
SUAV- DEL	8.0	365.8	5.0	0.7	20.7
SISTEMA					
TORRES	8.0	380.9	10.3	0.9	21.2
TOSHIBA 3	8.1	358.0	10.0	1.0	22.9
TOSHIBA 5	8.3	347.5	11.7	2.0	49.6
Promedio total	8.2	383.3	10.9	1.5	40.4

**Fuente:** elaboración propia, con base a la información suministrada por IBERPLAST S.A.S.

Para el análisis de esta información se tuvo presente la configuración de líneas especificada anteriormente en la tabla 1, refiriéndose a: Terraza técnica como T.T, Inyectoras de preformas como Preformas, Inyectoras de cajas plásticas como Cajas y a Máquinas sopladoras de preformas como Soplado; evaluando cada una de estas líneas entre los intervalos anteriormente especificados con la información suministrada por la empresa como límites de los parámetros seleccionados (Máximo: línea de color rojo; Mínimo: línea de color verde), cómo se observa en los gráficos del 1 al 5, con una totalidad de 793 mediciones por cada uno de los parámetros en las máquinas.

**Gráfica 1.** Caracterización de pH por líneas productivas.



**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para todo el sistema, el histórico de pH arrojó un valor promedio de 8.2 evidenciando en la línea de soplado los mayores valores del parámetro y para cada una de las áreas se evidenció el cumplimiento promedio del valor según el límite establecido por la empresa, tabla 2.

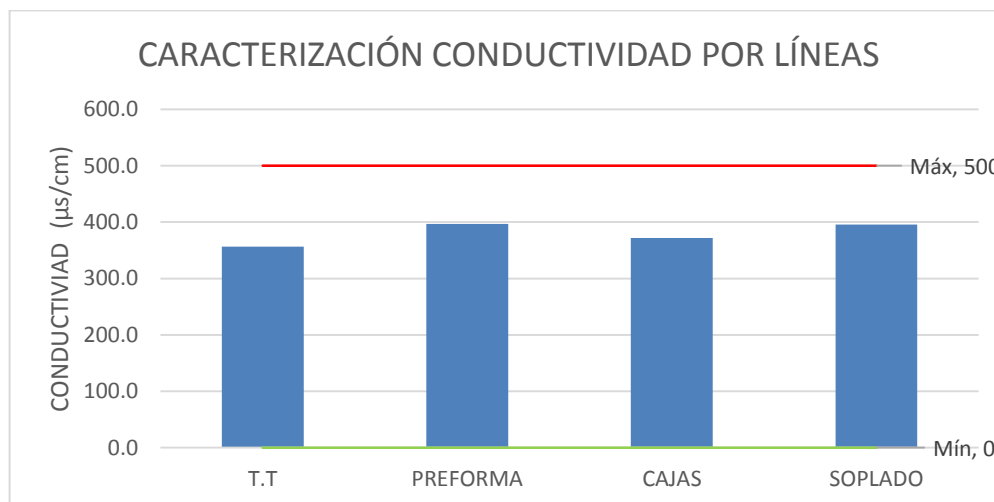
**Tabla 2.** Registro promedio de pH de las áreas intervenidas

Linea	Intervalo de parámetro		pH (UNIDADES)	Cumple
	Mín	Máx		
T.T	7.5	8.5	8.0	SI
PREFORMA	7.5	8.5	8.2	SI
CAJAS	7.5	8.5	8.2	SI
SOPLADO	7.5	8.5	8.3	SI

**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Sin embargo, se encontraron 225 datos individuales que corresponden al 28.4% de la totalidad, que incumplen el límite del intervalo con valores hasta de 6.41, valor por debajo del límite mínimo, y de 9.9 valor por encima del límite máximo.

**Gráfica 2.** Caracterización de conductividad por líneas productivas.



**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para las máquinas la especificación de conductividad tiene valores distintos como se mencionó anteriormente, con el fin de homogenizar el límite se ha escogido el valor máximo de conductividad para las máquinas Husky como el valor máximo de todo el parámetro en general, 500 (µs/cm).

Para todo el sistema, el histórico de conductividad arrojó un valor promedio de 383.3 µs/cm, evidenciando en las líneas de preforma y soplado los mayores valores del parámetro y que a nivel general el sistema cumple en el mismo.

**Tabla 3.** Registro promedio de Conductividad en las áreas intervenidas

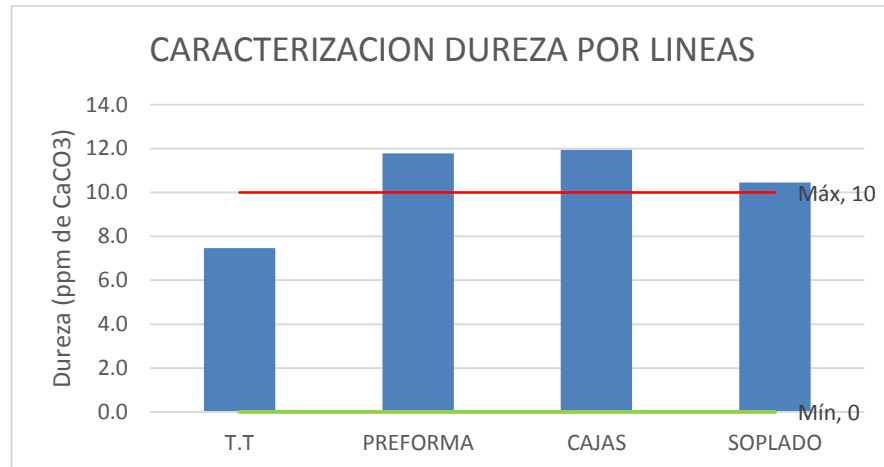
Linea	Intervalo de parámetro		Conductividad (µs/cm)	Cumple
	Mín	Máx		
T.T	0	500	356.3	SÍ
PREFORMA	0	500	396.9	SÍ
CAJAS	0	500	371.7	SÍ
SOPLADO	0	500	395.7	SÍ

**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para la totalidad de las máquinas se logró determinar un intervalo de conductividad medida de 250.6 a 464 (µs/cm), sin embargo, las mediciones individuales están en

el amplio rango de 10 a 1064 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), estos datos específicos en el área de Preforma que es la que cuenta con la restricción de menor valor cómo máximo del parámetro.

**Gráfica 3.** Caracterización de dureza por líneas productivas.



**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para todo el sistema, el histórico de dureza arrojó un valor promedio de 10.9 ppm de CaCO<sub>3</sub>, evidenciando en las líneas de preforma, caja y soplado los mayores valores del parámetro permitiendo ver que a nivel general el parámetro no cumple con los límites estipulados por la empresa misma.

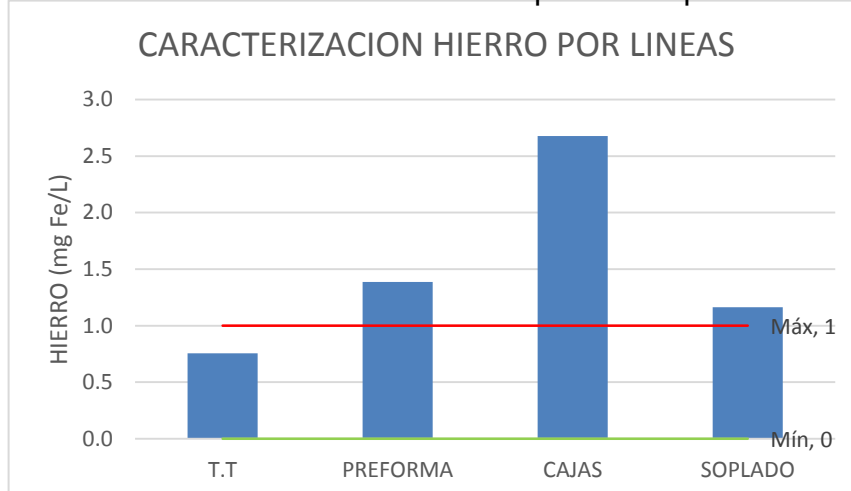
**Tabla 4.** Registro promedio de dureza en las áreas intervenidas

Línea	Intervalo de parámetro		Dureza (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	Cumple
	Mín	Máx		
T.T	0	10	7.5	SÍ
PREFORMA	0	10	11.8	NO
CAJAS	0	10	11.9	NO
SOPLADO	0	10	10.5	NO

**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para los datos individuales se determinaron valores de hasta 60ppm de CaCO<sub>3</sub> en el área de preforma en los dos últimos meses del intervalo, y una totalidad de 108 datos que incumplen la especificación del mismo.

**Gráfica 4.** Caracterización de hierro por líneas productivas.



**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para todo el sistema, el histórico de hierro arrojó un valor promedio de 1.5 mg Fe/L, evidenciando en las líneas de preforma, caja y soplado los mayores valores del parámetro, siendo cajas la línea con mayor dificultad en cumplir el parámetro.

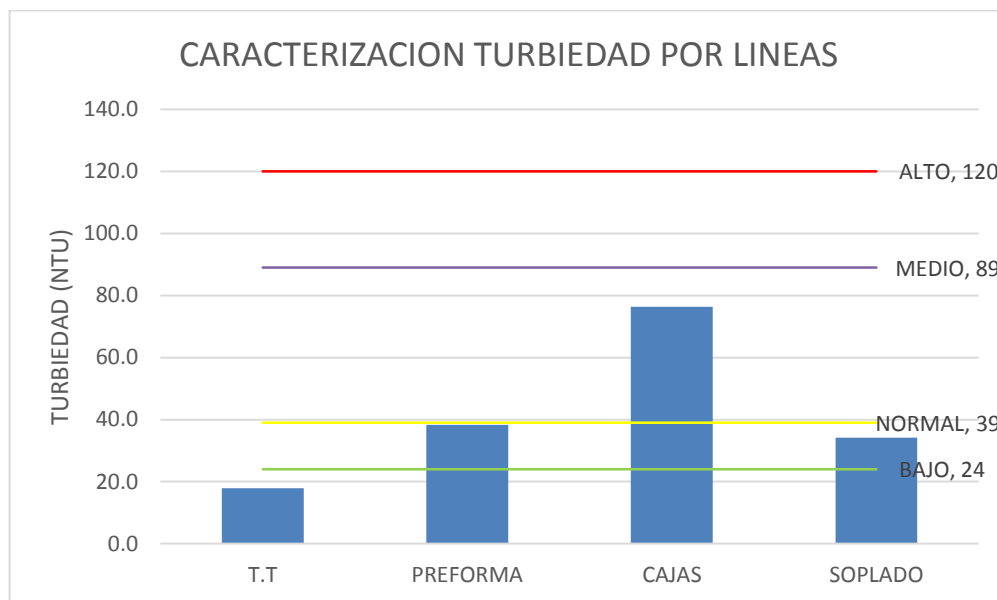
**Tabla 5.** Registro promedio de Hierro en las áreas intervenidas

Linea	Intervalo de parámetro		Hierro (mg Fe/L)	Cumple
	Mín	Máx		
T.T	0	1	0.8	SÍ
PREFORMA	0	1	1.4	NO
CAJAS	0	1	2.7	NO
SOPLADO	0	1	1.2	NO

**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Se determinó que el 37% de los datos individuales sobrepasaron el límite del parámetro y entre estos se encontraron datos con valores incluso por encima de 5 mg Fe/L (valor máximo del instrumento de medición) no pudiendo determinarse el color con el disco.

**Gráfica 5.** Caracterización de turbiedad por líneas productivas.



**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Cómo la empresa no cuenta con una especificación para este parámetro, se propuso poder cuantificarla según una escala desarrollada en el artículo “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales hábiles” de Asrafuzzaman, del 2011 en Bangladesh<sup>31</sup>, dónde hacen uso de una escala que caracteriza los rangos de los resultados de turbiedad. Para la caracterización de todos los datos en el presente histórico del proyecto, se nombró la escala de la siguiente manera:

- **ALTO:** 90-120 NTU
- **MEDIO:** 40-89 NTU
- **NORMAL:** 25-39 NTU
- **BAJO:** 0-24 NTU

Para todo el sistema, el histórico de turbidez arrojó un valor promedio de 40.4 NTU, evidenciando en la línea de cajas los mayores valores del parámetro.

<sup>31</sup> ASRAFUZZAMAN,Md; FAKHRUDDIN,A. N. M. y HOSSAIN,Md Alamgir. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. En: ISRN Microbiology. Dec 19,. vol. 2011, p. 632189-6

**Tabla 6.** Registro promedio de Turbidez en las áreas intervenidas

Especificación	Intervalo de parámetro		Linea	Turbidez (NTU)	Característica
	Lím. Inferior	Lím. Superior			
ALTO	90	120	T.T	17.9	BAJO
MEDIO	40	89	PREFORMA	38.3	NORMAL
NORMAL	25	39	CAJAS	76.4	MEDIO
BAJO	0	24	SOPLADO	34.1	NORMAL

**Fuente:** elaboración propia, con base en información suministrada por IBERPLAST S.A.S

Para la totalidad de las máquinas se logró determinar un intervalo de medición de 3.9 a 94.4 NTU, con un 6.6% de la totalidad de los datos individuales que sobrepasan dicho intervalo de medición, definiendo entonces que la turbidez a nivel general se encuentre en un nivel medio según la especificación.

Para el sistema en general se evidencia una deficiencia prácticamente total en los parámetros establecidos, siendo terraza técnica el único lugar en el que todos los parámetros se encuentran dentro del intervalo límite establecido por la empresa. Con el consolidado de los datos se permite concluir que las variaciones y sobre limitaciones de los parámetros son dependientes, en primer lugar de la producción de la empresa puesto que esta es la que dictamina la variación en los puntos de muestreo y el momento de estas mediciones críticas concentradas primordialmente en el segundo trimestre del año 2019; y en segundo lugar se evidencia que hay deficiencias críticas en lugares específicos del proceso que se vuelven responsables del incumplimiento de los intervalos y se ven camufladas entre los cálculos promedio de los muestreos.

## 2.4 DIAGNOSTICO ACTUAL

Con el fin de manejar datos precisos sobre el estado del agua del sistema de refrigeración para poder ejecutar un tratamiento lo más acertado posible, se realizaron análisis al agua en cuestión midiendo pH, conductividad, dureza, cantidad de hierro y turbidez. Las muestras manejadas en esta etapa fueron representativas del sistema desde un macro a un micro nivel.

En primera instancia se tomaron muestras de cada una de las máquinas especificadas en el diagrama 3, las cuales se homogenizaron para obtener una muestra representativa del sistema completo. Los datos obtenidos se representan en la imagen 2.

**Imagen 2.** Análisis obtenido en etapa de diagnóstico del sistema general.

FECHA	REPLICA	PUNTO DE MUESTREO	T (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	DUREZA (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	HIERRO (mg Fe/L)	TURBIEDAD (NTU)
14/02/2020	1	H1, H2, H4, H5, H6, H7, H8, H10, H12, H14, SIPA, B6, B66 (F Y C), B10, KRAUSS 3, FILTROS, TORRES, SUAVIZADOR SALIDA	20,4	7,5	604,0	10,0	0,7	30,1
	2	8,0		600,0	10,0	0,7	25,7	
	3	8,0		595,0	10,0	0,7	23,4	
<b>Promedio</b>			<b>20,4</b>	<b>7,8</b>	<b>599,7</b>	<b>10,0</b>	<b>0,7</b>	<b>26,4</b>
14/02/2020	1	H1, H2, H4, H5, H6, H7, H8, H10, H12, H14, SIPA, B6, B66 (F Y C), B10, KRAUSS 3, FILTROS, TORRES, SUAVIZADOR SALIDA	21,1	8,1	603,0	10,0	1,0	25,5
	2	7,7		607,0	10,0	0,7	24,2	
	3	8,1		606,0	10,0	1,0	23,6	
<b>Promedio</b>			<b>21,1</b>	<b>8,0</b>	<b>605,3</b>	<b>10,0</b>	<b>0,9</b>	<b>24,4</b>
<b>Total ponderado</b>			<b>20,8</b>	<b>7,9</b>	<b>602,5</b>	<b>10,0</b>	<b>0,8</b>	<b>25,4</b>

**Fuente:** elaboración propia

Como podemos ver los datos obtenidos en esta primera evaluación difieren frente al consolidado histórico en variables como la conductividad, presencia de hierro y turbidez. Estas variables presentaban un valor promedio de 383,3 µs/cm, 1,5 mg Fe/L y 40,4 NTU respectivamente en el período de enero a septiembre del año 2019. El aumento en la conductividad es un indicador del aumento proporcional de sólidos totales disueltos con potencial iónico en el sistema, la presencia de hierro decreció de tal manera que se encuentra dentro de los límites establecidos por la compañía (presencia de hierro <1 mg Fe/L).



Posterior al análisis del sistema completo se procedió a comparar las dos grandes áreas que conforman el sistema; la planta productiva y la terraza técnica donde se genera el acondicionamiento y tratamiento del agua.

**Imagen 3.** Análisis y comparativo obtenido en etapa de diagnóstico entre la terraza técnica y planta.

FECHA	Replica	PUNTO DE MUESTREO	T (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	DUREZA (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	HIERRO (mg Fe/L)	TURBIEDAD (NTU)	
21/02/2020	1	H1, H2, H4, H5, H6, H7,	21,1	8,2	558,0	20,0	0,8	34,1	
	2	H8, H10, H12, H14, SIPA, B6, B66 (F Y C),	21,1	8,1	532,0	20,0	0,7	27,9	
	3	B10, KRAUSS 3	21,1	8,1	551,0	20,0	0,7	24,5	
	Promedio			21,1	8,1	547,0	20,0	0,7	28,8
	1	FILTROS, TORRES, SUAVIZADOR SALIDA	23,3	8,2	527,0	10,0	0,2	12,6	
	2		21,6	8,3	534,0	10,0	0,2	12,2	
	3		21,3	8,3	527,0	10,0	0,2	11,7	
	Promedio			22,1	8,3	529,3	10,0	0,2	12,2
	Total ponderado			21,6	8,2	538,2	15,0	0,5	20,5

**Fuente:** elaboración propia

Para este primer comparativo se puede ver un contraste significativo en variables como la dureza, presencia de hierro y turbidez, las cuales arrojaron valores mayores en la planta productiva de la compañía. Con base a esto podemos señalar un estado crítico en cuanto a concentraciones de iones de calcio o magnesio que son la mayor causa de un aumento en la dureza, en la concentración de hierro en esta área que puede ser efecto del estado de las tuberías y de las máquinas en las que interviene el agua y por último tenemos a la turbidez que nos manifiesta la gran concentración de sólidos suspendidos que adquiere el agua en este trayecto del sistema.

A partir de lo anteriormente planteado se determina a la planta productiva como el área crucial del sistema de refrigeración y se procede a analizar cada una de las líneas productivas que la conforman (inyección de preformas, soplado e inyección de cajas).

**Imagen 4.** Análisis obtenido en etapa de diagnóstico del sistema general.

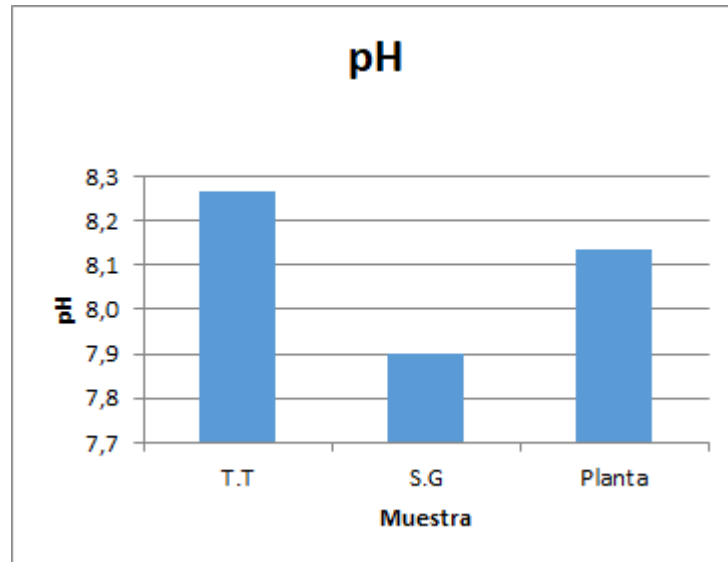
FECHA	Replica	PUNTO DE MUESTREO	T (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	DUREZA (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	HIERRO (mg Fe /L)	TURBIEDAD (NTU)	
21/02/2020	1	Preformas: H1, H2, H4, H5, H6, H7, H8, H10, H12, H14, SIPA	19,7	8,1	544,0	20,0	0,7	18,7	
	2		19,6	8,1	542,0	20,0	0,6	19,1	
	3		19,6	8,1	543,0	20,0	0,6	18,9	
	Promedio			19,6	8,1	543,0	20,0	0,6	18,9
	1	Soplado: B6, B66 (F Y C), B10	21,5	8,1	570,0	30,0	0,4	47,4	
	2		21,7	8,2	567,0	30,0	0,6	45,4	
	3		21,7	8,2	568,0	30,0	0,4	49,0	
	Promedio			21,6	8,2	568,3	30,0	0,5	47,3
	1	Cajas: KRAUSS 3	20,3	8,1	575,0	10,0	0,6	18,4	
	2		20,6	8,0	571,0	10,0	0,5	16,8	
	3		20,7	8,0	571,0	10,0	0,7	17,3	
	Promedio			20,5	8,0	572,3	10,0	0,6	17,5
	1	Terraza técnica: FILTROS, TORRES, SUAVIZADOR SALIDA	23,3	8,2	527,0	10,0	0,2	12,6	
	2		21,6	8,3	534,0	10,0	0,2	12,2	
	3		21,3	8,3	527,0	10,0	0,2	11,7	
	Promedio			22,1	8,3	529,3	10,0	0,2	12,2
	Total ponderado			21,3	8,2	550,8	10,0	0,4	14,8

**Fuente:** elaboración propia

Precisado el estado de cada una de las líneas productivas se puede identificar que la línea de soplado presenta los valores más altos en los parámetros dureza, turbidez y conductividad, mientras que el área de inyección de cajas y de preformas presentan las mayores concentraciones de hierro.

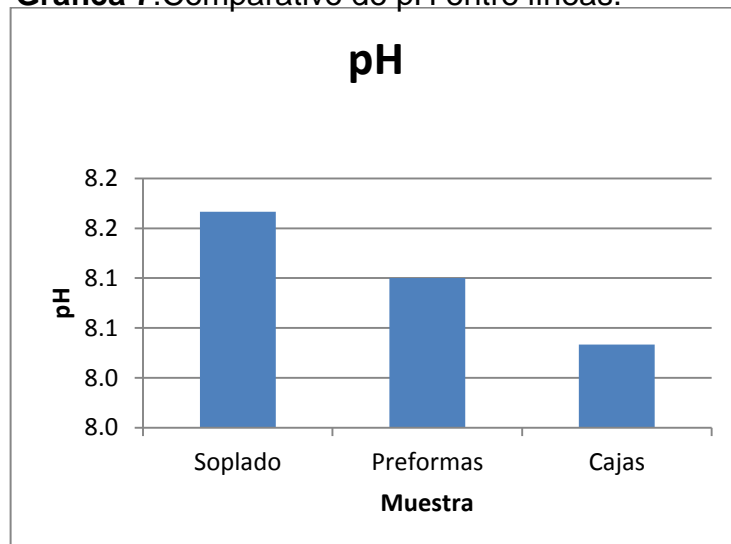
A continuación, se representa el comportamiento de cada uno de los parámetros medidos durante la etapa de diagnóstico.

**Gráfica 6.** Comportamiento de pH entre áreas.



**Fuente:** elaboración propia

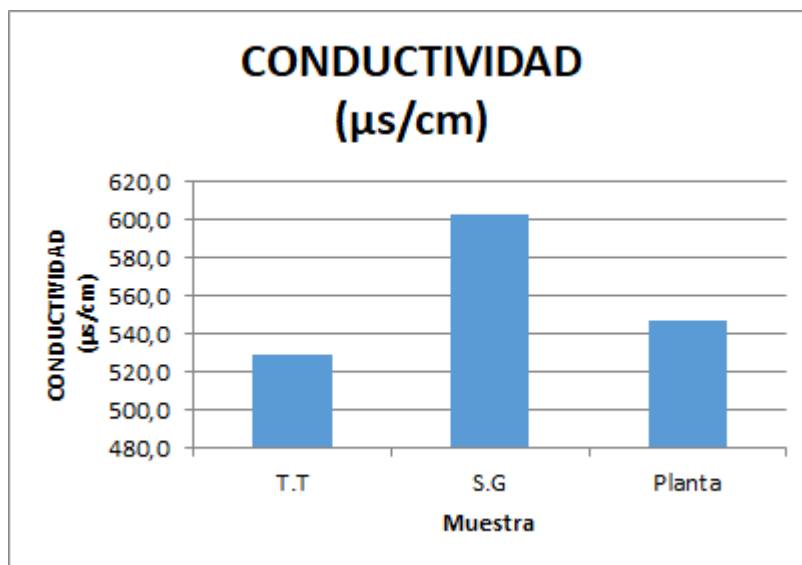
**Gráfica 7.** Comparativo de pH entre líneas.



**Fuente:** elaboración propia

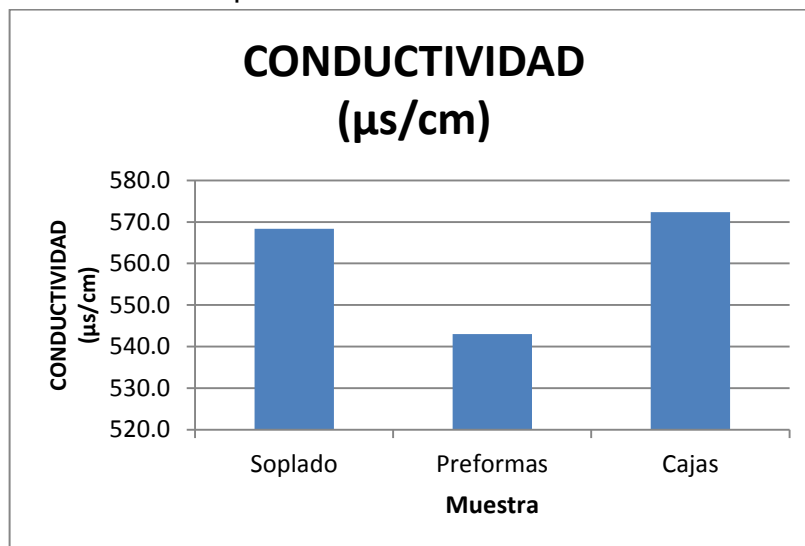
Para el diagnóstico a nivel macro la terraza técnica obtuvo el valor de pH más alto seguida por la planta y el sistema en general, este parámetro obtuvo valores que cumplen con los límites establecidos por la compañía (7,5-8,5). A nivel micro se puede determinar que el agua involucrada en el área de soplado tiene un carácter de mayor basicidad a comparación del área de inyección de cajas y preformas.

**Gráfica 8.** Comparativo de conductividad entre áreas.



**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 9.** Comparativo de conductividad entre líneas.

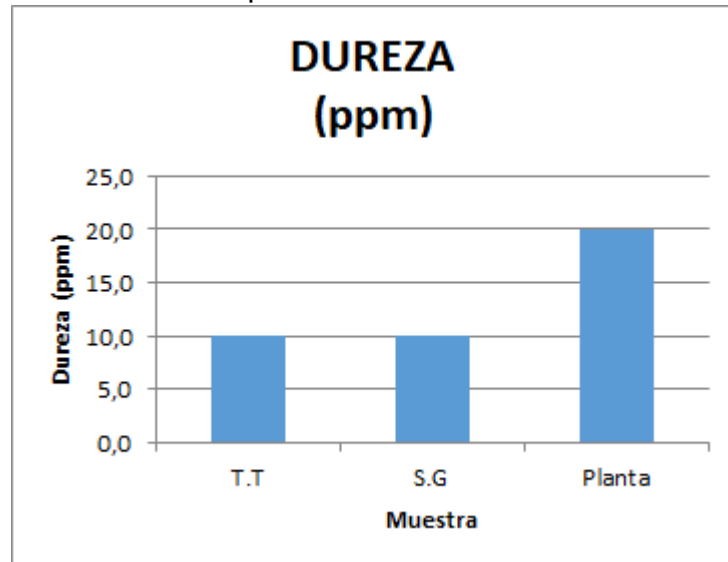


**Fuente:** elaboración propia

El comportamiento de la conductividad en el sistema muestra una presencia de sólidos suspendidos en el análisis del sistema completo, sin embargo, es importante resaltar que tanto el análisis del sistema completo como cada una de sus sub-áreas presentan valores superiores a los obtenidos en el histórico de enero a septiembre del 2019, donde el promedio se encontraba en 383, 3 µs/cm. De igual manera en el

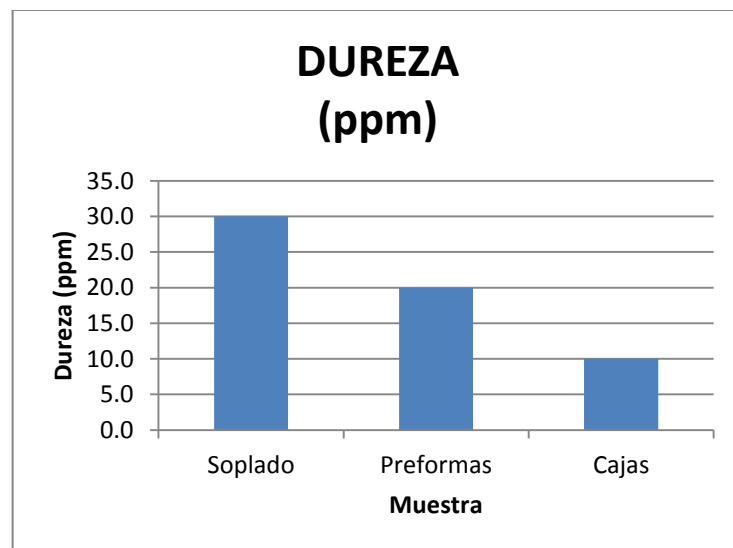
análisis para cada una de las líneas productivas se obtiene un comportamiento similar donde el área de inyección de cajas arroja la conductividad más alta.

**Gráfica 10.** Comparativo de dureza entre áreas.



**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 11.** Comparativo de dureza entre líneas.

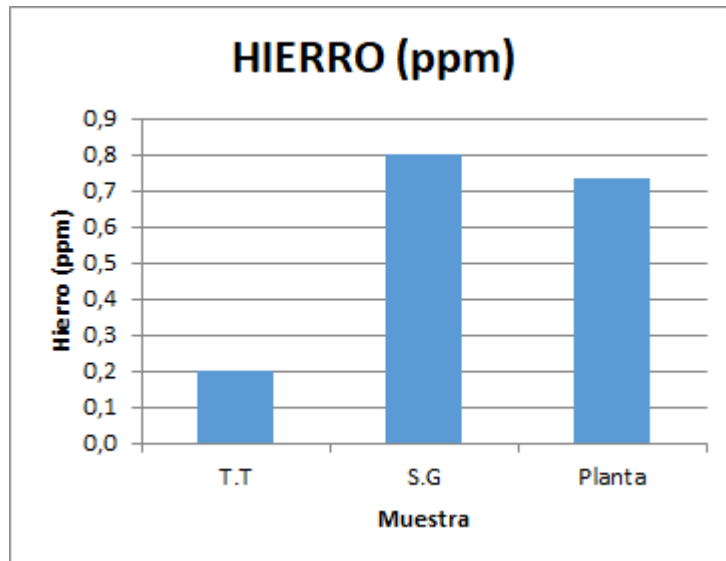


**Fuente:** elaboración propia

En cuanto a dureza el sistema en general y la terraza técnica se mantienen dentro de los límites (máximo 10 ppm de  $\text{CaCO}_3$ ) mientras que la planta se encuentra por

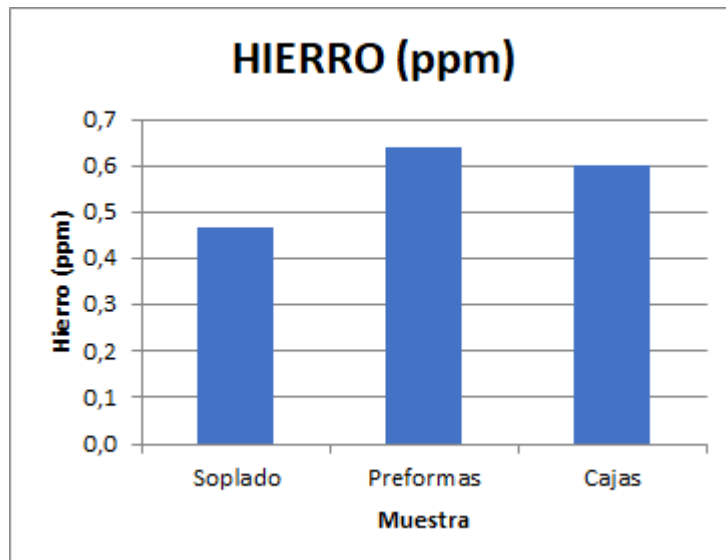
fuera de este, este hecho se justifica mediante la alta dureza que presento una de las tres líneas que conforman esta área, la línea de soplado que durante su análisis arrojó un valor de 30 ppm de  $\text{CaCO}_3$  evidenciando la alta concentración de minerales en este trayecto.

**Gráfica 12.** Comparativo de presencia de hierro entre áreas.



**Fuente:** elaboración propia

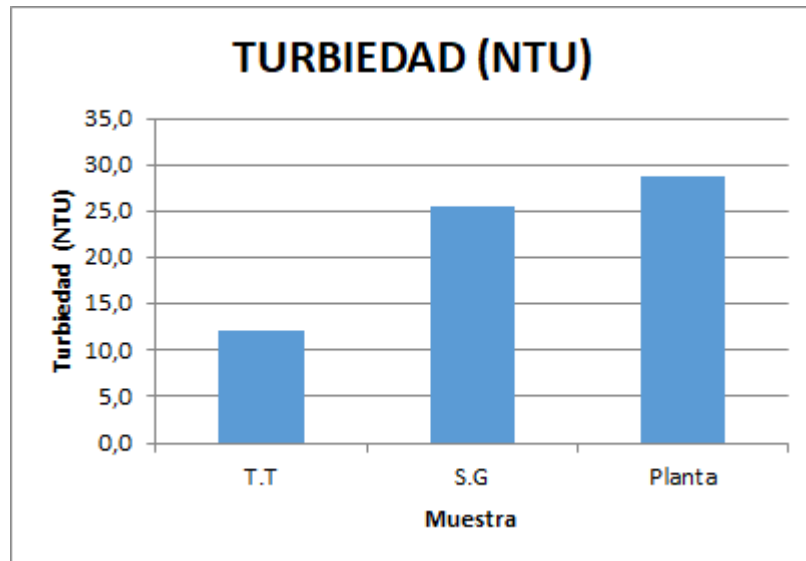
**Gráfica 13.** Comparativo de presencia de hierro entre líneas.



**Fuente:** elaboración propia

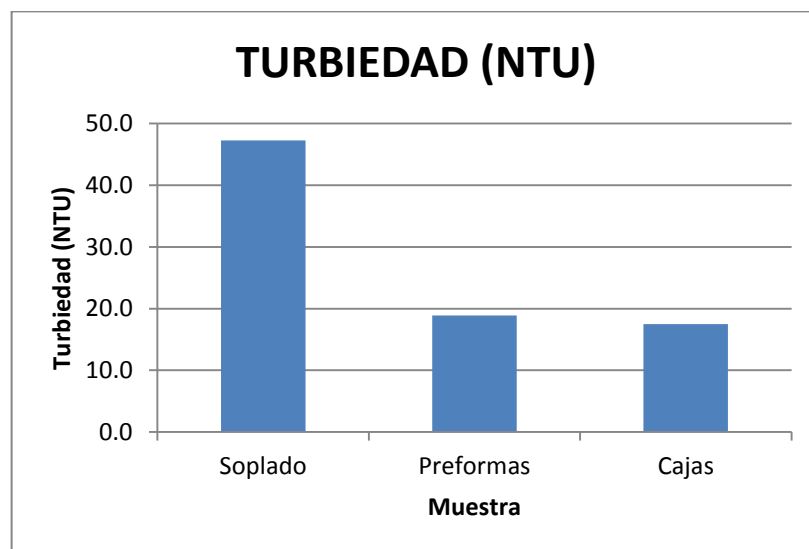
Como se representa en las gráficas podemos notar que el sistema en general y la línea de inyección de preformas fueron las muestras que obtuvieron una mayor concentración de hierro a nivel macro y micro respectivamente, sin embargo, todas las muestras se encuentran dentro de las especificaciones técnicas requeridas.

**Gráfica 14.** Comparativo de turbiedad entre áreas.



**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 15.** Comparativo de turbiedad entre líneas.



**Fuente:** elaboración propia

Por ultimo a partir del diagnóstico se puede verificar el comportamiento que tiene el agua en el recorrido del sistema con respecto a la turbidez de la misma. Este parámetro es mayor en la planta productiva en específico en la línea de soplado donde la cantidad de solidos suspendidos es el doble en comparación a la que se presenta en las líneas de inyección de preformas y cajas. Este comportamiento identificado será un punto clave para desarrollar un tratamiento acertado que se base en los parámetros críticos que presenta el agua del sistema de refrigeración en la actualidad.



### 3. METODOLOGIA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Diagnosticado el sistema de refrigeración se prosiguió a determinar parámetros, técnicas y reactivos adecuados para el tratamiento del agua utilizada en el sistema en cuestión, estableciendo como parámetro crítico la turbidez del agua.

Según esto, se selecciona como técnica idónea un test de jarras ya que permite según la NTC 3903<sup>32</sup> el ajuste del pH, facilita la remoción de sólidos sedimentables responsables en la clarificación del agua y además es un proceso más económico a comparación de otros métodos de reducción de sólidos suspendidos. Para la ejecución de este, se determinaron los reactivos necesarios (coagulante y floculante) de manera teórica cuyo proceso fue regido por la norma NTC 3903, norma que describe todos los lineamientos para el proceso determinando la dosis ideal del tratamiento escogido para el proceso unitario que produzca la mejor calidad de agua referente a la disminución del porcentaje de turbiedad, analizando finalmente los resultados obtenidos en este desarrollo.

#### 3.1 DETERMINACIÓN DE MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN

Del capítulo anterior, se evidencian los puntos críticos de muestreo y consecuentemente los parámetros más influenciados para establecer la calidad del agua del sistema intervenido para este proyecto.

Los parámetros medidos son importantes en su individualidad porque refieren información específica según el estudio y/o investigación que se quiera realizar, la relevancia de los parámetros escogidos es:

- El pH, ya que por debajo del rango (especificado para el proyecto anteriormente) la probabilidad de corrosión aumenta y cuando está por encima, la probabilidad de formación de incrustaciones también.
- La conductividad, por la cantidad de minerales y gases disueltos en el agua que tienen la capacidad de conducir electricidad.
- La dureza, referente a niveles de calcio y magnesio asociados con la tendencia a formar incrustaciones.
- La cantidad de hierro, ya que la acumulación de este pasa de  $Fe^{(+2)}$  a hidróxido férrico insoluble, característica de la corrosión, que por su carácter sólido puede interferir en el funcionamiento interno de los dispositivos en los que el sistema de refrigeración participa.

---

<sup>32</sup> [Anónimo] Norma Técnica Ntc Colombiana 3903. Colombia, 1993.

- La turbidez, que es referente a la acumulación de materiales sólidos diferentes de las incrustaciones que se producen debido al depósito de partículas que se fijan en algún punto del sistema.

Para evaluar la relevancia de cada uno de los parámetros mencionados en la escogencia de una alternativa de tratamiento se hizo una discriminación entre estos mismos con el fin de determinar en qué orden son relevantes sus mediciones en el tratamiento seleccionado, para esto se realizó una matriz de selección en la que se fijaron los siguientes criterios que permitieron darle una ponderación, que está sujeta a la información y necesidades explícitas de la empresa, como se ve en la Tabla 7 cada porcentaje de los criterios representa dicha importancia de estos para el desarrollo de la matriz; y finalmente se obtuvo un resultado con el que se pudo elegir.

Criterios:

- Aplicabilidad: referente a la facilidad de manipulación dentro de un tratamiento u otro.
- Exactitud: referente a la precisión de los instrumentos con los que se mide el parámetro.
- Indicador físico: referente a la capacidad del parámetro de dar un indicador visual dentro del tratamiento, específicamente el color.
- Significancia: referente a la importancia del parámetro para los requerimientos de la empresa.

**Tabla 7.** Criterios de selección, relevancia de parámetros en el tratamiento a seleccionar.

Criterio	Porcentaje
APLICABILIDAD	40%
EXACTITUD	20%
SIGNIFICANCIA	25%
INDICADOR FÍSICO	15%

**Fuente:** elaboración propia

Esta ponderación permitió obtener un puntaje para cada parámetro, donde el máximo valor que se puede obtener es 5 y el menor es 1 teniendo en cuenta la siguiente escala de importancia:

1. Nula
2. Bajo
3. Medio
4. Alto
5. Muy alto

Estos valores fueron dados a cada parámetro de acuerdo a la importancia del mismo para el desarrollo de los procedimientos que habitualmente desarrolla la empresa, estos se multiplicaron con el porcentaje que corresponde a cada criterio y se obtuvieron los siguientes resultados expuestos en la matriz de selección.

**Tabla 8.**Matriz de selección, relevancia de parámetros.

CRITERIO	PORCENTAJE	pH		Conductividad		Dureza		Hierro		Turbidez	
		CALIFICACIÓN	PUNTAJE	CALIFICACIÓN	PUNTAJE	CALIFICACIÓN	PUNTAJE	CALIFICACIÓN	PUNTAJE	CALIFICACIÓN	PUNTAJE
APLICABILIDAD	40%	4	1.6	2	0.8	3	1.2	4	1.6	5	2
EXACTITUD	20%	5	1	3	0.6	1	0.2	1	0.2	5	1
SIGNIFICANCIA	25%	3	0.75	3	0.75	4	1	5	1.25	4	1
INDICADOR FÍSICO	15%	2	0.3	2	0.3	3	0.45	3	0.45	5	0.75
<b>TOTAL</b>	100%		<b>3.65</b>		<b>2.45</b>		<b>2.85</b>		<b>3.5</b>		<b>4.75</b>

**Fuente:** elaboración propia

Para el desarrollo de este proyecto se dictaminó, según la tabla 12 que la variable más representativa es la Turbidez, con un valor de 4.75, seguida del pH con 3.65, hierro con 3.5, dureza con 2.85 y conductividad con 2.45.

Establecido esto, se tomó la primera variable (Turbidez) como requisito a cuantificar dentro del tratamiento a realizar.

3.1.1 Test de jarras. Pese a que el objetivo de este proyecto, no es potabilizar el agua de refrigeración involucrada en el sistema estipulado, se tendrá en cuenta que normalmente se utiliza el proceso de tratamiento convencional de aguas residuales, en específico la clarificación<sup>33</sup>, proceso directamente relacionado con la turbidez. Este sistema de tratamiento convencional está compuesto de fundamentalmente tres componentes: un tratamiento físico, químico y microbiológico. El componente físico busca la eliminación de la turbiedad y el color, el componente químico se refiere a la corrección del pH del agua, a la reducción de dureza y a la eliminación de elementos nocivos y el componente microbiológico se refiere exclusivamente a la desinfección con el fin de hacer apta el agua para consumo humano.

Para el desarrollo de esta propuesta se establece entonces, que el tratamiento tendrá un componente físico y químico, ya que el parámetro más importante, como se mencionó anteriormente es la turbidez, y que los siguientes parámetros relevantes después de este se pueden mejorar con la implementación del componente químico, el componente microbiológico no se tendrá en cuenta ya que hacer el agua apta para consumo humano no está dentro del alcance del presente proyecto.

El tratamiento físico, referente también a los tratamientos primarios, incluye la floculación y coagulación, que son procesos fundamentales específicamente en la clarificación, donde se remueven la mayor parte de sólidos en suspensión, la turbiedad orgánica e inorgánica, y el color verdadero y aparente. De acuerdo a Diana Fúquene<sup>34</sup> el método de test de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química en aguas teniendo como principal objetivo encontrar la dosis ideal de coagulante para el proceso unitario que produzca la mejor calidad de agua posible a los menores costos.

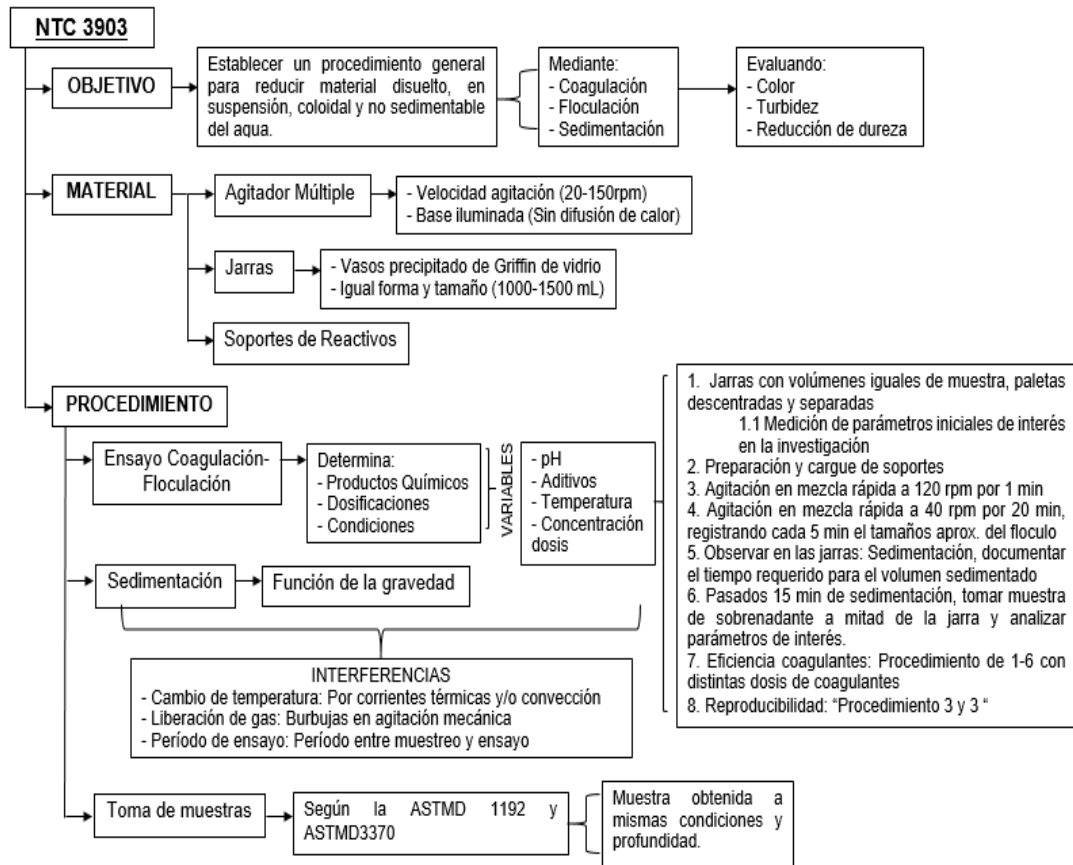
Para el proceso de test de jarras se siguieron los lineamientos de la NTC 3903, lineamientos que se resumen en el siguiente diagrama:

---

<sup>33</sup> FLUENCE. Clarificación de Agua y Efluentes. [Sitio WEB]. New York. La entidad. [28, abril, 2020]. Disponible en: <https://www.fluencecorp.com/es/clarificacion-de-aguas-y-efluentes/#:~:text=La%20t%C3%A9cnica%20de%20clarificaci%C3%B3n%20es,remoci%C3%B3n%20son%20mucha%20m%C3%A1s%20simples.>

<sup>34</sup> FUQUENE, Diana y YATE, Viviana. Ensayo De Jarras Para El Control Del Proceso De Coagulación En El Tratamiento De Aguas Residuales Industriales. Bogotá, Colombia: 2018. p. 2

**Diagrama 4.** Procedimiento Test de Jarras según norma NTC 3903.



**Fuente:** elaboración propia, con base en: ICONTEC. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Gestión Ambiental, Agua, Procedimiento para el método de Jarras en la coagulación-floculación del agua. NTC 3903. [En línea] Colombia, 2001. [Consultado 25 de abril 2020] Disponible en: [https://www.academia.edu/18093528/NORMA\\_NTC\\_3903](https://www.academia.edu/18093528/NORMA_NTC_3903)

3.1.2 Selección teórica de coagulantes. La selección del coagulante adecuado para el tratamiento de determinado sistema se basa en la toma de decisiones multicriterio y es un proceso fundamental para garantizar óptimas condiciones de operación y la calidad del agua tratada a un costo viable<sup>35</sup>. En la actualidad Europa y Asia han empleado una nueva generación de coagulantes inorgánicos polimerizados con el fin de obtener altos niveles de calidad y de desempeño en las aguas tratadas mediante tratamientos de coagulación y floculación. Algunos de estos coagulantes son el policloruro de aluminio (PAC's), clorhidrato de aluminio (ACH) y polisulfatos de aluminio (PAS), los cuales han mostrado mejor desempeño en la remoción de partículas en suspensión y a un menor costo que los coagulantes convencionales tales como el sulfato de aluminio<sup>36</sup>.

A partir de lo dicho anteriormente y por el amplio rango de aplicación se decide manejar agentes coagulantes de nueva generación ya que aseguran un alto desempeño en la disminución en la turbidez, dureza y presencia de hierro en el sistema, los cuales son los factores tomados como clave para el tratamiento del agua del sistema de refrigeración de la empresa Iberplast S.A.S.

- Clarifier 176: este coagulante es un polímero inorgánico de aluminio de la empresa Acquosa Tecnika SAS, este tipo de agentes coagulantes surgen como una alternativa de las sales de aluminio, las cuales se utilizan convencionalmente para clarificar aguas por su bajo costo y gran disponibilidad, sin embargo, estos compuestos se deben emplear en altas cantidades (alrededor de 80 ppm) para generar un alto desempeño, lo cual hace que el agua tratada presente una alta concentración de aluminio residual.

Autores como Romero han evidenciado que los polímeros inorgánicos de aluminio logran un mismo efecto que las sales de aluminio en factores críticos como la disminución de turbidez y clarificación del agua con un requerimiento de dosificación del 60% más bajo que para el sulfato de aluminio. De igual manera estos polímeros reducen el aluminio residual en un 20%<sup>37</sup>.

- Hidroxicloruro de aluminio: el hidroxicloruro de aluminio es una sal inorgánica multinuclear, también denominado PAC. Los PAC's son compuestos formados por especies hidrolíticas de aluminio que les otorga una calidad superior y una estructura estable ante procesos de hidrólisis.

Por sus características fisicoquímicas ofrece en el proceso de coagulación una mayor rapidez de formación, estabilidad del flóculo, gran capacidad clarificante, mayor velocidad de sedimentación, un amplio rango de pH de óptimo funcionamiento (5-9) y alta remoción de turbidez en comparación con los coagulantes convencionales<sup>38</sup>, tal y como se puede evidenciar en la tabla mostrada a continuación.

---

<sup>35</sup> COGOLLO, Juan. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloruro de aluminio. vol. 78, p. 3-6

<sup>36</sup> PERNITSKY, David J. y EDZWALD, James K. Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications. En: Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua. Mar. vol. 55, no. 2, p. 10-15

<sup>37</sup> ROMERO, Carlos, et al. Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. En: Revista INGENIERÍA UC. vol. 14, p. 4-9

<sup>38</sup> PERNITSKY, David J. y EDZWALD, James K. Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications. En: Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua. Mar. vol. 55, no. 2, p. 10-15

**Tabla 9.** Comparación del comportamiento de las variables fisicoquímicas en el conjunto de clarificación utilizando dos coagulantes

Variable	Tipo de proceso	
	Sulfato de aluminio tipo B y cal (45 ppm)	Hidroxiclорuro de aluminio y soda cáustica (1%)
Variación pH (%)	2.4	0.6
Remoción Turbiedad (%)	59.5	73.5
Variación Alcalinidad Total (%)	13.7	2.2
Variación Dureza Total (%)	18.8	1.8
Variación Aluminio Residual (%)	8.3	-33.3

**Fuente:** COGOLLO, Juan. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclорuro de aluminio. vol. 78, p. 3-6

3.1.3 Selección teórica de floculantes. Mónica Bravo<sup>39</sup> dice que en la clasificación de los floculantes, y en los coagulantes, según su naturaleza química estos pueden ser inorgánicos y orgánicos, y estos pueden ser naturales (polisacáridos) y sintéticos (polímeros) que tienen grupos activos a lo largo de su cadena y son muy utilizados en la industria química moderna pues son eficaces a bajas concentraciones y pueden encontrarse como un producto no iónico o como floculantes catiónicos y aniónicos de diversos pesos moleculares, distinta densidad de carga y de una eficacia independiente del pH, información valiosa teniendo en cuenta el orden de relevancia obtenido en la matriz de selección (Tabla 8) infiriendo que habiendo solucionado con los reactivos el comportamiento del pH, el siguiente parámetro, Hierro será el segundo más importante en el análisis del desarrollo experimental.

“La poliacrilamida ha sido utilizada durante muchos años para mejorar el efecto de floculación, el ahorro de consumo de alumbre, la eliminación de algas, la disminución de la mutagenicidad y mejorar la calidad del agua, es decir reducir el costo neto de agua”<sup>40</sup>. Es una afirmación hecha en el artículo de Aplicación de poliacrilamida en tratamientos de agua de una de las empresas más importantes de

<sup>39</sup> BRAVO, Monica. Coagulantes Y Floculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes Y Metales Pesados En Aguas Residuales. Universidad Francisco José de Caldas, 2017. p. 16-17

<sup>40</sup> CHINAFLOC. Aplicación de poliacrilamida en la investigación de tratamiento de agua potable [SITIO WEB] China. [Abril 29, 2020]. Disponible en: [http://www.chinafloc.com/es/Aplicacin-de-poliacrilamida-en-la-investigacin-de-tratamiento-de-agua-potable\\_1005.html](http://www.chinafloc.com/es/Aplicacin-de-poliacrilamida-en-la-investigacin-de-tratamiento-de-agua-potable_1005.html)

China en la producción de estos reactivos (ChinaFloc), donde afirma en otro de sus artículos que la poliacrilamida “en tratamientos de agua puede reducir el consumo de coagulante y la velocidad de sedimentación pues hace que los sólidos finos en el agua tratada se adhieran entre sí hasta que los filtros puedan capturarlos para formar lodos de depuración y así eliminarse de manera más fácil”<sup>41</sup> y “teniendo en cuenta factores tecnológicos, características del coagulante y la calidad del agua original, es posible intensificar la limpieza y decoloración del agua natural y residual”<sup>42</sup>. Freddy Riaño en su monografía afirma sobre este tipo de floculantes que “Dentro de las características más importantes de los floculantes poliméricos, además de su fácil manejo y excelente solubilidad en el agua, se destaca su alto peso molecular, lo que implica mejores propiedades de agregación y densidad de carga; estos inducen la formación de flóculos con mejores características en términos de tamaño y fuerza de enlace”<sup>43</sup>.

De acuerdo a toda la información anteriormente recopilada, para este proyecto se decide utilizar dos variedades de poliacrilamidas una aniónica y una catiónica, pues en general el polímero promete disminuir la turbidez y aportar de manera considerable en la clarificación, además disminuyendo la cantidad de coagulante a utilizar, sin el aumento de la concentración de este mismo.

- Floaid PA-030: este floculante es una poliacrilamida catiónica de la empresa Acquosa Tecnika SAS, esta PAM es la variedad de mayor crecimiento en los últimos años, la tasa de utilización en los países desarrollados occidentales es del 5-10%. Vivian Fierro hace una evaluación de la remoción de hierro con Zeolita donde afirma sobre las poliacrilamidas iónicas, lo siguiente: “La utilización de estas es principalmente por su carga iónica y peso molecular, teniendo como ventajas las bajas dosificaciones durante el proceso ya que no requiere concentración mayores al 1% por su viscosidad, la velocidad de sedimentación no supera los 30 minutos, la remoción de sólidos presenta una eficiencia satisfactoria, eliminándolos en un 80% y puede ser utilizada en un amplio rango de pH sin modificarse”.<sup>44</sup>
- Poliacrilamida Aniónica: Noemi Quirós<sup>45</sup> dice que son “polímeros de altos pesos moleculares y baja densidad de carga que aglomeran rápidamente los

---

<sup>41</sup> CHINAFLOC. The applications of polyacrylamide [SITIO WEB] China. [Abril 29, 2020]. Disponible en: [http://www.chinafloc.com/The-applications-of-polyacrylamide-Brand-Chinafloc-\\_1579.html](http://www.chinafloc.com/The-applications-of-polyacrylamide-Brand-Chinafloc-_1579.html)

<sup>42</sup> CHINAFLOC. *Ibíd.* P. 4

<sup>43</sup> RIAÑO MENDEZ, FREDY WLADIMIR y TARAZONA BARAJAS, JULIAN ANDRES. *Coagulantes-Floculantes Poliméricos De Origen Natural Para Potabilización De Agua*. Bucaramanga: 2015.

<sup>44</sup> VIVIAN STEFANY FIERRO MÁRQUEZ y PAULA NICHOLL RAMÍREZ GAITÁN. *Evaluación Del Proceso De Remoción De Hierro Por Medio De La Zeolita Clinoptilolita En El Tratamiento De Aguas Residuales Industriales*. Universidad de América, 2016. p. 30; 51

<sup>45</sup> OÍDOR PULIDO, Diana. *Desarrollo De Una Propuesta Para Un Sistema De Tratamiento De Agua Residual De La Empresa Biobrill s.a.s*. Fundación Universidad de América, 2018. p. 55-57



flóculos pequeños formados en la coagulación, la poliacrilamida aniónica hidroliza  $H^+$  trabajando mejor en un pH alcalino. Este polímero tiene mayor rendimiento en las etapas de decantación y filtración y mejoran la calidad del agua tratada. “Ésta es un floculante-coagulante altamente efectivo, pues acondiciona los sólidos para las operaciones de deshidratación y ayuda en los procesos de clarificación de agua en una amplia variedad de industrias”<sup>46</sup>. Dino Dalthon<sup>47</sup> dice también que la dosificación se hace preparando soluciones madre con un agua de alta calidad y dosis pequeñas de máximo 1 mg/L, y se prepara en una proporción al menos de 10:1.

3.1.4 Selección final de reactivos. Para la selección del coagulante y floculante a emplear se realizó un primer test de jarras siguiendo los pasos establecidos en el diagrama 4, con este procedimiento se evaluaron las condiciones iniciales y finales de las muestras para poder realizar un comparativo completo de la eficiencia de cada reactivo.

Para la primera muestra se usó el coagulante CLARIFIER CB.176 y el floculante FLOAID PA-030, en la segunda muestra los reactivos a evaluar fueron el hidroxicloriguro de aluminio como agente coagulante y poliacrilamida como floculante. Para la selección de los agentes químicos se tuvo en cuenta tanto la reducción en parámetros claves como la turbidez y la presencia de hierro, como la estabilidad y tamaño del floc formado ya que de esto depende la facilidad de remoción del mismo mediante procesos adicionales.

Para la selección de los agentes coagulantes y floculantes se realizó un test de jarras inicial donde se manejaron los coagulantes CLARIFIER CB.176 y el hidroxicloriguro de aluminio en un volumen igual para tratar dos muestras características del sistema con un volumen de 1 L cada una, posteriormente se agregaron los floculantes FLOAID PA-030 y poliacrilamida respectivamente en volúmenes iguales. En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 10.** Agentes coagulantes y floculantes utilizados en cada tratamiento.

Tratamiento	Floculante y coagulante
T1	CLARIFIER CB 176 y FLOAID PA-030
T2	Hidroxicloriguro de aluminio y poliacrilamida

**Fuente:** elaboración propia

<sup>46</sup> DINO, DALTHON y URURI CALCINA. Evaluación Del Proceso De Sedimentación Con Poliacrilamida Aniónica En Las Aguas Residuales Del Circuito De Pozas De La Unidad Operativa Minera Halcón De Oro - Ananea. UNIVERSIDAD NACIONAL DE ALTIPLANO, 2018. p. 23

<sup>47</sup> Ibid. P 23.

**Tabla 11.** Resultados obtenidos de la selección del conjunto de agentes reactivos a implementar.

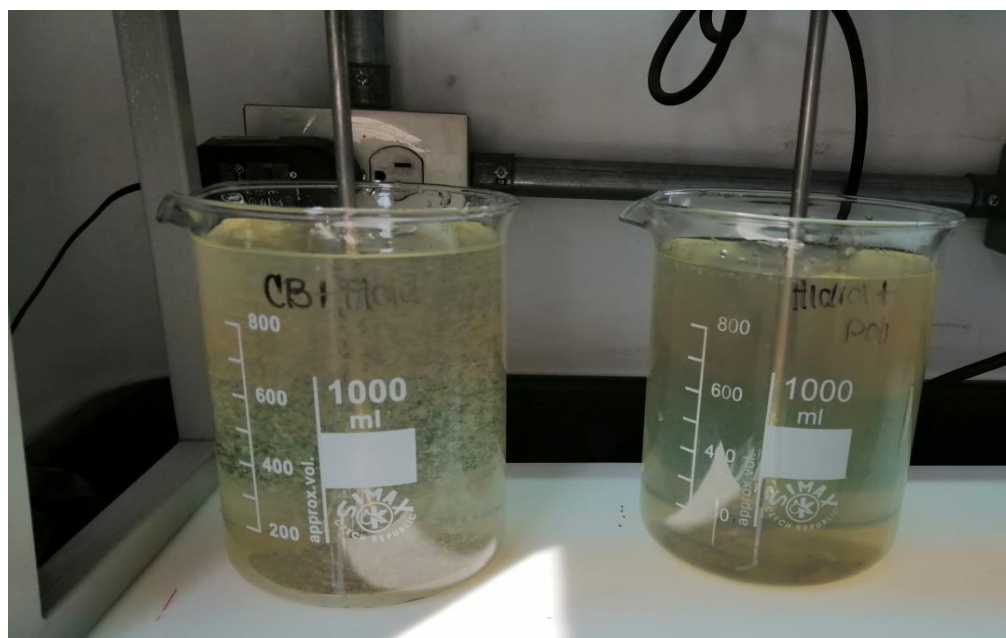
Muestra	pH	Conductividad ( $\mu\text{s/cm}$ )	Dureza (ppm de $\text{CaCO}_3$ )	Hierro (mg Fe/L)	Turbiedad (NTU)
INICIAL	7,9	604	10	1,2	28,34
T1	7	678	10	0,1	1
T2	7,2	653	10	0,3	3

**Fuente:** elaboración propia

Como se puede observar la reducción en la turbiedad con el tratamiento 1 es del 96,4 % y con el tratamiento 2 del 89,4%, de igual manera la presencia de hierro en cada tratamiento disminuyo en un 91,6% y 75% respectivamente.

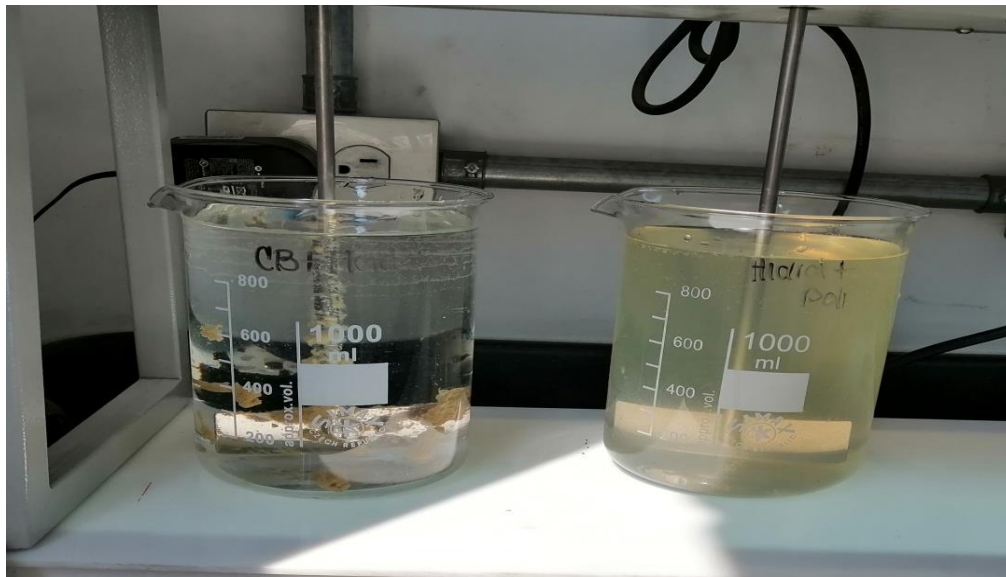
Para la selección se tuvo en cuenta los resultados obtenidos además de factores como la clarificación, tamaño y estabilidad del floc generado (Evidenciado en la imagen 2) ya que de esto depende la facilidad con la que se puedan retirar los floculos con metodos adicionales y estado final del agua. Por lo anteriormente establecido se seleccionó el tratamiento 1 para su aplicación en el desarrollo experiemntal y extrapolación a la ingeniería conceptual.

**Imagen 5.** Estado inicial muestras utilizadas para el test de jarras para selección de agentes reactivos.



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 6.** Resultado test de jarras para la selección de agentes reactivos.



**Fuente:** elaboración propia

### 3.2 REACTIVOS Y EQUIPOS

En este apartado se enlistan; los reactivos junto a la descripción fisicoquímica, sus propiedades físicas y químicas junto con el rombo de peligro de la norma estadounidense NFPA 704 en el (Cuadro 2), y los equipos utilizados en el desarrollo del test de jarras, (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Reactivos utilizados en el desarrollo experimental

<b>Coagulante</b>			
CLARIFIER CB-176	Polímero inorgánico de mezcla de cloruro de aluminio y polielectrolitos orgánicos.	Líquido límpido a levemente turbio, de amarillo/ámbar a verde. Olor penetrante. Pto. Ebullición: 98°C; 100% soluble en agua, pH(25°C): 2-3; Densidad: 1.285-1.333 g/cm <sup>3</sup> .	
<b>Floculante</b>			
FLOAID PA-030	Poliacrilamida Catiónica	Polvo granular, sin olor, color blanco. Soluble en agua, forma solución altamente viscosa, Viscosidad Max (25°C): 4000 mpa.s	

**Fuente:** elaboración propia, con base en hojas de datos de seguridad de material (MSDS) de ACQUOSA TECNICA S.A.S;

**Cuadro 3.** Equipos utilizados para el desarrollo experimental.

Equipo	Imagen
Jarras	
Medidor de pH digital LAQUAtwin-pH-11	
Turbidimetro portátil modelo TPW	
Medidor de EC Hanna HI 98304	
Color Disc de HACH modelo IR-18	
Método Dropper Bottle	

**Fuente:** elaboración propia, con base en material fotográfico de IBERPLAST S.A.S

### 3.3 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Se seleccionó como variables las dosis de coagulante y floculante, según lo explicado en el inicio del capítulo donde se evidencia que estas dosis son las responsables del éxito del ejercicio del test de jarras tomándose el porcentaje de reducción de turbidez como una medida de la eficiencia del proceso.

Para el desarrollo del test se prepararon las soluciones madre para el coagulante y el floculante en una concentración de: 40mL de coagulante para cada litro de agua

y de 500 mg por cada litro de agua para el floculante cómo sugiere el proveedor. Luego se seleccionaron tres (3) dosis distintas para el coagulante (Tabla 12), que se evaluaron cada una con dos (2) dosis diferentes de floculante (Tabla 14).

**Tabla 12.** Volúmenes de coagulante para el test de jarras

Factor	Volumen de coagulante (ml)
1	5
2	7
3	10

**Fuente:** elaboración propia

Se parte de la dosis de 5 mL y 3 mL de la solución madre de coagulante y floculante respectivamente para el desarrollo experimental, ya que con esta dosis se escogió la combinación de reactivos vista en el numeral 3.1.4 del presente capítulo, conociendo el poder de remoción y reducción de la turbiedad para esa calidad de agua se permitió escoger este punto de partida. María Fernanda Domínguez dice que “a medida que la turbiedad aumenta es necesario aumentar la dosis del coagulante, pero en una menor cantidad al aumento en parámetro”<sup>48</sup> y Diana Fúquene <sup>49</sup> comenta que las dosis muy altas de coagulante invierten la carga de las partículas coloidales haciendo que los flóculos que se formen sean pequeños y en gran cantidad, tardándose demasiado en sedimentar y también que las dosis de solución madre deberían ir variando en 0.5 mL por litro de agua, incluyendo esta argumentación para las dosis variantes de floculante también, sin embargo en el artículo de investigación de Asrafuzzaman<sup>50</sup> se hace una comparación entre algunos coagulantes de origen natural donde se concluye que la utilización de diferentes dosis de *Cicer arietinum* o Garbanzo tenía casi la misma capacidad de reducción de turbidez que los coagulantes de aluminio y los floculantes de poliacrilamida, las dosis utilizadas variaron de 50 a 100 mg/L con pasos entre ellas de 10 mg obteniendo entre la mínima y la máxima dosis una diferencia de 2 NTU, se puede concluir que siendo el garbanzo la especie según el artículo con capacidad casi igual a la de los químicos convencionales para el tratamiento de agua que es posible que el aumento de las dosis entre las jarras se haga con pasos de mayor tamaño y no habrá un cambio de gran significancia en la reducción de turbidez.

<sup>48</sup> DOMÍNGUEZ AMOROCHO, MARÍA FERNANDA. Optimización De La Coagulación – Floculación En La Planta De Tratamiento De Agua Potable De La Sede Recreacional Campoalegre – Cajasan. Universidad Pontificia Bolivariana, 2010. p. 14-15

<sup>49</sup> FUQUENE, Diana y YATE, Viviana. Ensayo De Jarras Para El Control Del Proceso De Coagulación En El Tratamiento De Aguas Residuales Industriales. Bogotá, Colombia: 2018. p. 26

<sup>50</sup> ASRAFUZZAMAN, Md; FAKHRUDDIN, A. N. M. y HOSSAIN, Md Alamgir. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. En: ISRN Microbiology. Dec 19,. vol. 2011, p. 632189-64

Teniendo en cuenta esta información, la calidad del agua involucrada para la parte experimental, el valor de turbidez obtenido después del tratamiento (Numeral 3.1.4) que fue de 1 NTU y con el fin de encontrar la jarra con mayor porcentaje de reducción de turbidez sin saturar la misma se decidió que el aumento de las dosis para el coagulante sería de 2.5 mL que correspondería a un incremento de 0.10-0.15 mg en masa del coagulante y un aumento de 2 mL para el floculante que correspondería a 1 mg del mismo.

Para la solución de coagulante se calculó la cantidad en masa del reactivo para las diferentes dosis propuestas en el cuadro 4 usando la relación de proporcionalidad de la solución madre de coagulante con el fin de determinar la concentración en cada dosis.

**Tabla 13.** Especificación de dosis de coagulante para el desarrollo experimental

<b>Dosis de coagulante</b>		
	<b>VOLUMEN DOSIS (mL)</b>	<b>MASA COAGULANTE (g)</b>
DOSIS 1	5	0.2517
DOSIS 2	7	0.3524
DOSIS 3	10	0.5035

**Fuente:** elaboración propia

Teniendo en cada volumen: 5mL, 7mL y 10 mL; una concentración de 0.1923 mL/L, 0.2692 mL/L y 0.3846 mL/L, respectivamente en volumen del coagulante.

Teniendo de igual manera, el mismo procedimiento para las dosis de floculante:

**Tabla 14.** Volúmenes de floculante para el test de jarras

<b>Factor</b>	<b>Volumen de floculante (ml)</b>
<b>1</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>5</b>

**Fuente:** elaboración propia

Teniendo en cada volumen: 3mL y 5mL; una concentración de 1.5 mg/L y 2.5 mg/L respectivamente.

**Tabla 15.** Especificación de dosis de floculante para el desarrollo experimental

Dosis de floculante		
	VOLUMEN DOSIS (mL)	MASA FLOCULANTE (g)
DOSIS 1	3	0.0015
DOSIS 3	5	0.0025

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a esto se determinó entonces, una totalidad de seis (6) combinaciones y seis (6) réplicas para las mismas, cómo se ve en la tabla 15, dónde la primera columna presenta el orden de la combinación, el primer valor es referente al nivel del volumen de coagulante y el segundo referente al nivel de volumen de floculante, para las siguientes columnas viene expresado el valor de los niveles en mL de solución del reactivo.

### 3.4 MUESTREO

Para este proceso se tomaron muestras de igual volumen de agua de todos los puntos muestreados para el diagnóstico del sistema, en diferentes momentos del proceso productivo teniendo en cuenta las áreas y las máquinas que presentaron mayores valores para los parámetros en el diagnóstico determinado anteriormente, con el fin de que en el momento del desarrollo del test de jarras se contara con una mezcla representativa de la calidad del agua involucrada en el sistema.

El primer muestreo se llevó a cabo el día 18 de febrero del 2020, el cuál sirvió para aplicar el test de jarras en las combinaciones 1, 2 y 3, el segundo muestreo fue el día 21 del mismo mes para la aplicación del test en las combinaciones 4, 5 y 6, el tercer muestreo fue el día 25 de febrero para las combinaciones 7, 8 y 9 y el cuarto muestreo fue el día 28 de febrero para las combinaciones restantes 10, 11 y 12. Los siguientes muestreos se hicieron de la misma manera con el fin de realizar una réplica para cada una de las combinaciones anteriores, el día 3 de marzo para las combinaciones 1, 2 y 3, el 6 de marzo para las combinaciones 4, 5 y 6, el 10 de marzo para las combinaciones 7, 8 y 9 y el 13 de marzo para las combinaciones restantes 10, 11 y 12.

**Tabla 16.** Combinaciones de Volúmenes de coagulante y floculante para el test de jarras

Comb	V.C:V.F	V.C (mL)	V.F (mL)
1	1*1	5	3
2	1*2	5	5
3	3*2	10	5
4	2*2	7	5
5	1*2	5	5
6	3*2	10	5
7	2*1	7	3
8	2*1	7	3
9	3*1	10	3
10	2*2	7	5
11	3*1	10	3
12	1*1	5	3

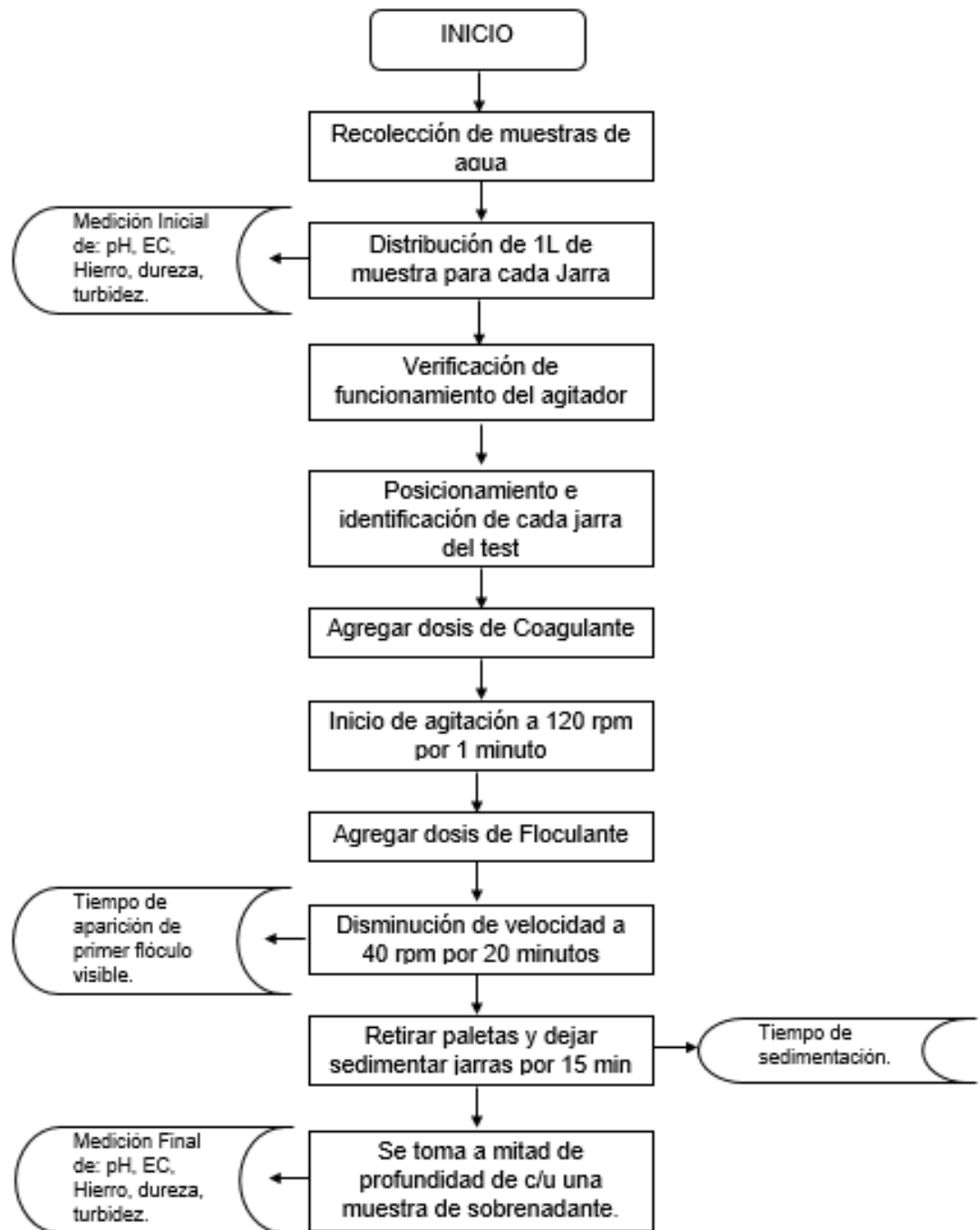
**Fuente:** elaboración propia

### 3.5 METODOLOGÍA

El protocolo que se siguió para cada prueba se obtuvo de la norma NTC 3903 especificada anteriormente, se midieron los parámetros iniciales dos (2) veces para cada muestra y su respectiva réplica (pH, conductividad, dureza, cantidad de hierro, turbidez y temperatura), sacando un promedio entre ambos valores para tomarlo objetivamente como el real, cómo se ve en las filas de color azul de la Tabla 16. Se verificó el funcionamiento de los agitadores de cada puesto, luego se añadieron las dosis estipuladas para cada combinación de coagulante y floculante, respectivamente, con una agitación de 120 rpm durante un (1) minuto, posteriormente se disminuyó la velocidad a 40 rpm por veinte (20) minutos y por último se dejó sedimentar por quince (15) minutos, este procedimiento se puede ver en el diagrama 5.



**Diagrama 5.** Procedimiento Test de Jarras.



**Fuente:** elaboración propia, con base en: ICONTEC. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Gestión Ambiental, Agua, Procedimiento para el método de Jarras en la coagulación-floculación del agua. NTC 3903. [En línea] Colombia, 2001. [Consultado 25 de abril 2020] Disponible en: [https://www.academia.edu/18093528/NORMA\\_NTC\\_3903](https://www.academia.edu/18093528/NORMA_NTC_3903)

**Tabla 17.** Parámetros iniciales de cada muestra y réplica

Orden Corrida	V.C:V.F	T inicial	pH inicial	Conductividad inicial	Dureza inicial	Hierro inicial	Turbiedad inicial
1	1*1	18	8.1	606	10	0.7	28.85
		17.8	8.1	604	10	1	29.61
		17.9	8.1	605	10	0.85	29.23
2	1*2	18.1	8.2	606	10	1.3	34.6
		18.1	8	602	10	1.3	36.18
		18.1	8.1	604	10	1.3	35.39
3	3*2	18.2	8.1	600	10	1.3	32.8
		18.3	8	599	10	1.3	34.31
		18.25	8.05	599.5	10	1.3	33.555
4	2*2	18.1	8.3	598	10	1.1	34.31
		18.1	8.2	598	10	1.1	36
		18.1	8.25	598	10	1.1	35.155
5	1*2	18.9	8.1	602	10	0.9	29.51
		18.9	8.2	601	10	1	29.05
		18.9	8.15	601.5	10	0.95	29.28
6	3*2	19.2	8.2	604	10	0.8	31.54
		19.2	8.1	602	10	0.9	30.16
		19.2	8.15	603	10	0.85	30.85
7	2*1	19.1	8.2	600	10	0.8	31.27
		19.1	8.2	601	10	0.8	31.54
		19.1	8.2	600.5	10	0.8	31.405
8	2*1	19.2	8.2	601	10	0.9	30.8
		19.2	8.1	602	10	0.9	29.44
		19.2	8.15	601.5	10	0.9	30.12
9	3*1	18.2	8.2	598	10	1.1	35.83
		18.3	8.2	597	10	1.1	36.58
		18.25	8.2	597.5	10	1.1	36.205
10	2*2	19.7	8.1	603	10	1.1	28.27
		19.8	8.1	603	10	1.1	28.54
		19.75	8.1	603	10	1.1	28.405
11	3*1	19.7	8.1	604	10	1.2	28.62
		19.8	8.1	600	10	1.2	28.96
		19.75	8.1	602	10	1.2	28.79
12	1*1	20	8.1	601	10	1.1	28.93
		20.2	8.1	602	10	1.1	29.27
		20.1	8.1	601.5	10	1.1	29.1

**Fuente:** elaboración propia

Transcurrido el tiempo de sedimentación se extrajo una muestra del sobrenadante a la altura de la mitad del beaker, y se midieron nuevamente todas las variables para cada muestra, cómo se especifica en la Tabla 17.

**Tabla 18.** Parámetros finales de cada muestra y réplica

Orden Corrida	V.C:V.F	T final	pH final	Conductividad final	Dureza final	Hierro final	Turbiedad Final
1	1*1	18.9	7.2	657	10	0.5	8.84
		19.1	7.3	643	10	0.4	8.03
		19	7.25	650	10	0.45	8.435
2	1*2	17.9	7.6	637	10	0.5	12.01
		17.1	7.5	636	10	0.5	10.71
		17.5	7.55	636.5	10	0.5	11.36
3	3*2	18	6.9	669	10	0.2	1.91
		18.1	7.1	651	10	0.2	2.26
		18.05	7	660	10	0.2	2.085
4	2*2	17.9	7.1	651	10	0.2	3.42
		17.9	7.1	650	10	0.2	3.95
		17.9	7.1	650.5	10	0.2	3.685
5	1*2	19.4	7.5	641	10	0.5	14.66
		19.7	7.4	640	10	0.6	13.83
		19.55	7.45	640.5	10	0.55	14.245
6	3*2	19.4	6.8	685	10	0.1	2.44
		19.5	6.7	689	10	0	2.22
		19.45	6.75	687	10	0.05	2.33
7	2*1	19.6	6.9	637	10	0.2	6.13
		19.5	6.9	638	10	0.2	6.84
		19.55	6.9	637.5	10	0.2	6.485
8	2*1	19.6	7.1	657	10	0.1	1.38
		19.9	7.1	659	10	0.1	1.25
		19.75	7.1	658	10	0.1	1.315
9	3*1	17.9	6.9	671	10	0.3	6.62
		18.2	6.9	670	10	0.3	6.97
		18.05	6.9	670.5	10	0.3	6.795
10	2*2	20.9	7.1	661	10	0.4	3.13
		20.9	7	662	10	0.4	3.25
		20.9	7.05	661.5	10	0.4	3.19
11	3*1	20.7	6.7	684	20	0.5	11.46
		20.9	6.4	684	20	0.5	10.37
		20.8	6.55	684	20	0.5	10.915
12	1*1	20.6	7.1	639	20	0.4	4.44
		20.7	7	637	20	0.4	3.36
		20.65	7.05	638	20	0.4	3.9

Fuente: elaboración propia

Cómo se especificó anteriormente, se evaluaron los porcentajes de disminución en cada parámetro (Tabla 18), tomando como porcentaje de interés el de disminución de turbidez, los porcentajes positivos representan la disminución en el factor medido y los porcentajes negativos representan un aumento del mismo después del tratamiento.

**Tabla 19.** Datos experimentales representados en porcentaje de disminución

Combinación	% de disminución						Diferencia turbiedad
	T	pH	Conductividad	Dureza	Hierro	Turbiedad	
1*1	-6.2%	10.5%	-7.4%	0.0%	44.3%	71.1%	15%
1*1	-2.7%	13.0%	-6.1%	-100.0%	63.6%	86.6%	
1*2	3.3%	6.8%	-5.4%	0.0%	61.5%	67.8%	16%
1*2	-3.4%	8.6%	-6.5%	0.0%	42.2%	51.4%	
2*1	-2.4%	15.9%	-6.2%	0.0%	75.0%	79.4%	16%
2*1	-2.9%	12.9%	-9.4%	0.0%	88.9%	95.6%	
2*2	1.1%	13.9%	-8.8%	0.0%	81.8%	89.5%	1%
2*2	-5.8%	13.0%	-9.7%	0.0%	63.6%	88.8%	
3*1	1.1%	15.9%	-12.2%	0.0%	72.7%	81.2%	19%
3*1	-5.3%	19.1%	-13.6%	-100.0%	58.3%	62.1%	
3*2	1.1%	13.0%	-10.1%	0.0%	84.6%	93.8%	1%
3*2	-1.3%	17.2%	-13.9%	0.0%	93.8%	92.5%	

**Fuente:** elaboración propia

En esta tabla se aprecia un aumento en la temperatura entre el 1 y 6% y en la conductividad del 5 hasta el 13%, parámetros que están relacionados entre sí cómo describe Yuliana Solís<sup>51</sup> ya que por cada grado Celsius de temperatura que aumenta, se espera un aumento del 2-3% en la conductividad y aunque un aumento en la conductividad no es favorable, estos valores son aceptables para el análisis del agua según un artículo publicado por la empresa Lenntech Water Treatment Solutions<sup>52</sup> ya que en valores de EC < 2000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  la proximidad de los iones en solución inhibe su actividad y en consecuencia su habilidad de transmitir corriente. Para la réplica de la combinación 1\*1 y la 3\*1 se determina un aumento de la dureza del 100% referente a 10 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , este parámetro en específico cómo se mencionó anteriormente tiene una resolución demasiado amplia que impide

<sup>51</sup> SOLÍS-CASTRO, Yuliana; ZÚÑIGA-ZÚÑIGA, Luis Alberto y MORA-ALVARADO, Darner. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. En: Revista Tecnología En Marcha. Mar 22, vol. 31, no. 1, p. 35

<sup>52</sup> LENNTECH WATER TREATMENT SOLUTIONS. Conductividad del agua. Países Bajos. 1998-2020. [Consultado: 15 de Junio de 2020]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm#:~:text=Debido%20a%20que%20la%20corriente,el%20agua%20disuelve%20compuestos%20i%C3%B3nicos.>

determinar de manera precisa un aumento o disminución del mismo, ya que su método de medición es colorimétrico y está sujeto con mayor probabilidad a un error humano en la determinación, por esto se desprecia para la evaluación en este punto; y finalmente se logra observar una disminución en el pH de entre el 6 y el 19%, el porcentaje de hierro entre 44 y 93% y la variable de interés, turbiedad, para todos las combinaciones entre el 51 y 95%.

Cómo el porcentaje de turbiedad es el parámetro de interés se determina hacer una diferencia entre el valor del porcentaje de reducción de turbidez de la muestra y su réplica pues pese a que tienen las mismas cantidades de reactivos, cada muestra está hecha para una caracterización distinta de agua de proceso, la diferencia mínima entre estas podría garantizar que la combinación es eficiente en distintas calidades de muestra y trabajará de manera correcta para cualquier época de producción. Vemos así que la menor diferencia de turbidez registrada en la Tabla 18 para las seis combinaciones, se encuentran para la combinación 2\*2 y 3\*2 con valor de 1% para cada una; cómo el objetivo del desarrollo experimental es encontrar la combinación óptima de remoción de turbiedad, se escoge la combinación con valores más altos de remoción, es decir la combinación 3\*2, que corresponden a las dosis más altas de ambos reactivos 10 y 5 mL respectivamente, con una concentración del CLARIFIER CB-176 de 0.3846 mL/L o 0.5035 g/L y para el FLOAID PA-030 DE 2.5 mg/L.

## 4. INGENIERIA CONCEPTUAL

La ingeniería conceptual establece los fundamentos para las siguientes etapas del proceso, que son la ingeniería básica y de detalle. En esta primera fase se realiza un análisis tanto técnico como económico con el fin de determinar la viabilidad del proyecto a ejecutar<sup>53</sup>.

Consecuentemente se realizó el planteamiento y análisis de las posibles alternativas de tratamiento que permitan tratar el agua del sistema por lotes. De este modo se manejarán dos volúmenes de agua; el primer volumen de agua estará cumpliendo las funciones antes establecidas en todo el sistema de refrigeración y el segundo volumen estará siendo acondicionado con el tratamiento propuesto para reemplazar al primero cuando éste termine su ciclo. Con este manejo por lotes se busca generar un funcionamiento continuo del sistema que permita paralelamente tratar y dar una mayor vida útil al agua empleada.

### 4.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Con el fin de desarrollar una propuesta de tratamiento integral para el agua del sistema de refrigeración se realizó una revisión bibliográfica, cuyo fin fue la identificación las operaciones unitarias requeridas pre y post aplicado el tratamiento primario ya identificado y planteado en los capítulos anteriores. Los procesos identificados se detallan a continuación:

- **DESBASTE:** es el primer paso en la depuración de materias gruesas cuya presencia perturbaría el tratamiento total, junto con el eficiente funcionamiento de las máquinas y equipos, se realiza por medio de rejillas que retiene cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión<sup>54</sup>.
- **HOMOGENIZACIÓN:** este proceso es necesario para garantizar la distribución homogénea de las sustancias que vayan a interactuar en la totalidad del agua a tratar y tener las mismas condiciones en todo el volumen<sup>55</sup>.
- **COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:** este tipo de tratamientos se emplean para eliminar partículas sólidas de entre  $10^{-6}$  –  $10^{-9}$  m. Este proceso se fundamenta en la adición de determinados reactivos químicos que desestabilicen la

---

<sup>54</sup> Desbaste y Tamizado [Curso] Curso de operador de plantas de tratamiento de aguas. Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua. 1999-2001, párrafo 3. [Consultado 6 de junio del 2020] Disponible en: [https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/Uni\\_05/DESBASTE.PDF](https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/Uni_05/DESBASTE.PDF)

<sup>55</sup>ROMERO,Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de la misma, de esta manera se obtiene un floc sedimentable<sup>56</sup>.

- **SEDIMENTACIÓN:** esta operación unitaria mediante la fuerza de la gravedad hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente y se deposite en el fondo del sedimentador. La eficiencia de esta operación depende de factores como el tamaño y densidad de las partículas a sedimentar<sup>57</sup>.
- **FILTRACIÓN:** consiste en el paso del agua a tratar mediante un medio poroso el cual retiene las partículas sólidas que tengan un mayor tamaño al de sus poros. De este proceso podemos resaltar dos clases:
  - ❖ **Filtración por gravedad:** en esta clase de filtros la gravedad es la única fuerza que genera el paso del agua por el medio poroso. Se caracteriza por generar una velocidad de filtración por lo cual requieren de una gran área de filtración<sup>58</sup>.
  - ❖ **Filtración por presión:** el funcionamiento de estos se diferencia al anterior en que el agua es forzada a fluir a través del lecho filtrante gracias a la presión que realiza una bomba, por lo cual requieren un área de filtración menor en comparación al filtro por gravedad y facilitan el manejo de grandes volúmenes de agua<sup>59</sup>.

Determinados los procesos necesarios para desarrollar un tratamiento integral se procedió a realizar el planteamiento de dos alternativas, estas se diferencian en el tipo de filtro que se va a utilizar. La alternativa I implementa la filtración por gravedad y la alternativa II considera el uso de un filtro por presión, cómo se ve a continuación:

---

<sup>56</sup> FERNANDEZ, Antonio, et al. Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales . p. 18-24

<sup>57</sup> *Ibíd*, p 24.

<sup>58</sup> CARDOZO, Jonatan. Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas, Para Lavado Automotor, Para La Empresa Translogam S.A.S. 2017. p 36.

<sup>59</sup> *Ibíd*, p37.

**Diagrama 6.** Alternativas de tratamiento



**Fuente:** elaboración propia.

## 4.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la selección de la alternativa más adecuada se empleó el método de ponderación lineal donde los criterios a discriminar se basaron en los filtros a emplear dado a que es el único factor en el que difieren ambas alternativas, en los requerimientos por parte de la compañía y la experiencia de la misma sobre el tema. Los criterios a tener en cuenta son:

- **Mantenimiento:** el sistema de filtrado debe requerir de un mantenimiento básico para asegurar menos costos y menor tiempo perdido de operación.
- **Velocidad:** la velocidad de filtración debe ser alta para disminuir el tiempo requerido para tratar el agua y asegurar el funcionamiento continuo del sistema de refrigeración.
- **Capacidad:** el filtro en cuestión debe tener capacidad para tratar los 110 m<sup>3</sup> de agua que se emplean en el sistema de refrigeración.
- **Costos:** los costos del sistema de refrigeración deben ser moderados para garantizar la viabilidad del tratamiento.



La ponderación que se le dará a cada uno de los criterios anteriormente descritos está relacionada con la importancia de cada uno para el proceso y el valor asignado fue determinado gracias a la asesoría de expertos en el tema, la ponderación establecida se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 20.** Ponderación de criterios de selección alternativas de tratamiento

Criterio	Ponderación (%)
Mantenimiento	25
Velocidad	30
Capacidad	30
Costos	15

**Fuente:** elaboración propia

Esta ponderación nos dará como resultado un puntaje para las dos alternativas. El máximo valor que puede tener un criterio es 5 y el menor es 1, la escala a emplear se especifica a continuación

1. No cumple
2. Deficiente
3. Aceptable
4. Bueno
5. Excelente

**Tabla 21.** Matriz de selección alternativa de tratamiento.

Criterio	Porcentaje	Filtro de presión		Filtro de gravedad	
		CALIFICACIÓN	PUNTAJE	CALIFICACIÓN	PUNTAJE
<b>MANTENIMIENTO</b>	25	4	1	5	1,25
<b>VELOCIDAD</b>	30	5	1,5	4	1,2
<b>CAPACIDAD</b>	30	5	1,5	5	1,5
<b>COSTOS</b>	15	2	0,3	5	0,75
<b>TOTAL</b>	100		4,3		4,7

**Fuente:** elaboración propia.

Como se establece en el cuadro 8 se calificó cada parámetro manejando un criterio basado en la experiencia y en la información recopilada en la revisión bibliográfica;

de esta manera la alternativa a implementar para el desarrollo de esta propuesta será la alternativa I que establece el uso de filtros de gravedad.

Los filtros por gravedad son más económicos y no requieren de un mantenimiento tan exhaustivo como los filtros de presión. Por otro lado, manejan tasas de filtrado, inferiores a los filtros de presión, pero es un factor que puede ser modificado con la aplicación de determinados tipos de lechos filtrantes.

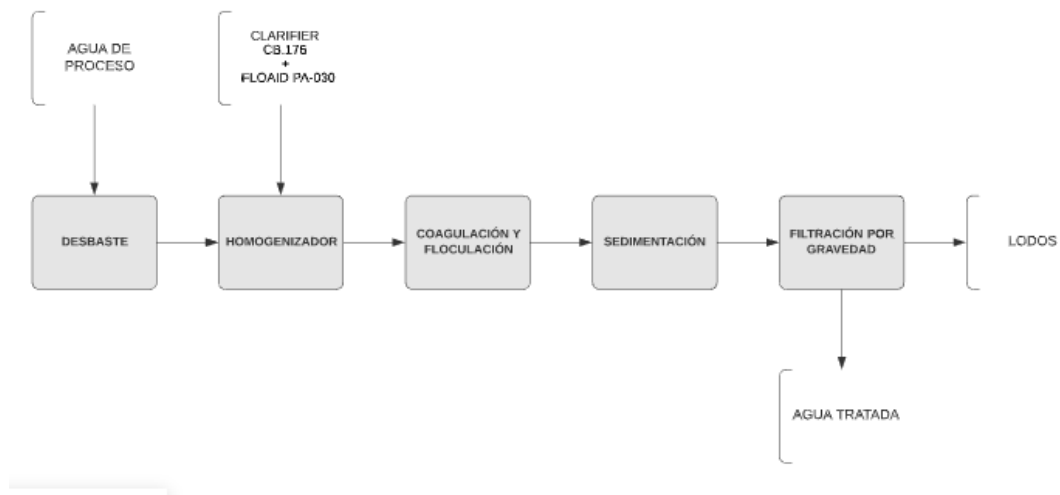
### 4.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA

La implementación de la alternativa necesita la especificación conceptual y una extrapolación de los resultados obtenidos en apartados anteriores para un escenario real, dónde se evalúe su funcionamiento para las condiciones del proceso que maneja el agua de enfriamiento involucrada en el presente proyecto.

Este numeral tiene como objetivo realizar el dimensionamiento de equipos para el sistema de la alternativa I.

#### 4.3.1 Diagramas alternativa seleccionada

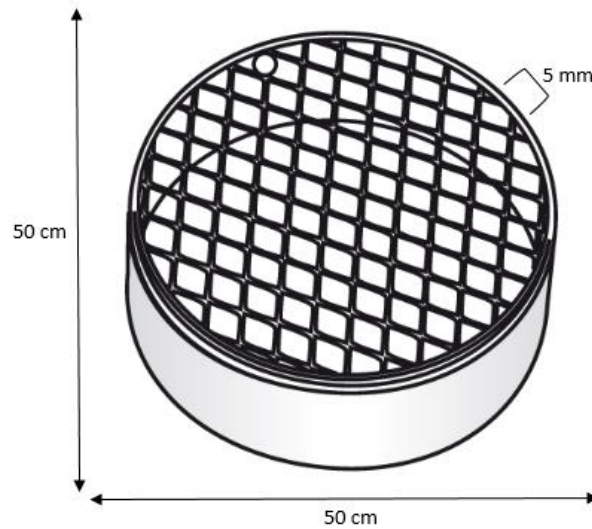
**Diagrama 7.** Diagrama de flujo alternativa seleccionada.



**Fuente:** elaboración propia.

4.3.2 Desbaste. De acuerdo al diagnóstico del agua realizado en el capítulo dos, se determina que, por la caracterización física, el material sólido con el que podría contaminarse el lote de agua de proceso que entraría al acondicionamiento sería solamente proveniente de la tubería del sistema por el cual se transporta. Este material sólido es de forma irregular de pequeño tamaño y procedente de posibles incrustaciones internas, por esto se propone la utilización de una rejilla dentro de la tubería que llevaría el agua de proceso al tanque homogeneizador, con el fin de mantener fuera del acondicionamiento los sólidos de gran tamaño; las dimensiones de la rejilla dependen de la tubería, la rejilla sería una fina con orificios de 5 mm y un diámetro de 50 cm.

**Diagrama 8.** Diagrama rejilla para desbaste.



**Fuente:** elaboración propia, con base en: FONDITAL. Rejilla de aspiración de acero inoxidable AISI316 [Imagen en línea]. [Consultado el día 23 de junio del 2020]. Disponible en: [https://www.fondital.com/es/es/rejilla\\_de\\_aspiracion\\_de\\_acero\\_inoxidable\\_80\\_mm](https://www.fondital.com/es/es/rejilla_de_aspiracion_de_acero_inoxidable_80_mm)

4.3.3 Dosificación para test de jarras. Cómo se determinó en el capítulo tres, las dosis óptimas evaluadas para los reactivos son de 10mL de solución madre de coagulante, y 5mL de solución madre de floculante con la concentración para el coagulante de 0.3846 mL/L y para el floculante 2.5 mg/L de solución para tratar cada litro de agua de proceso. El volumen de agua del sistema de refrigeración del proceso es de 110 m<sup>3</sup>, para tratar un lote de agua de este volumen se necesita determinar la cantidad de cada reactivo, determinando primero el volumen del soporte de cada uno de estos para hacer la solución que es correspondiente a la multiplicación de cada volumen de solución de reactivo por el volumen del sistema.

**Tabla 22.** Volumen de solución de reactivos para la alternativa I

	VOLUMEN (L)
SOLUCIÓN DE COAGULANTE	1100
SOLUCIÓN DE FLOCULANTE	550

**Fuente:** elaboración propia

Para determinar la cantidad de reactivo necesaria en cada solución se usa la relación de proporcionalidad del tratamiento con el que se trató en el capítulo tres un litro de agua de proceso, nuevamente haciendo la proporción para el volumen de agua de refrigeración del sistema.

**Tabla 23.** Cantidad de reactivo en solución de soporte para la alternativa I

Reactivo	Volumen	Masa
Cantidad de coagulante	42.31 L	55383.79 g
Cantidad de floculante	N.A	275 g

**Fuente:** elaboración propia

4.3.4 Tanque homogeneizador. En plantas de tratamiento de agua se emplea un homogeneizador con el propósito de dispersar rápida y uniformemente alguna sustancia o gas a través de toda la masa de agua a tratar, para esta alternativa se utilizará con el fin de generar la dispersión del coagulante y floculante. La mezcla puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos; para estos últimos la mezcla es inducida a través de impulsadores rotatorios del tipo de hélice o turbina<sup>60</sup>.

<sup>60</sup> ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

Para el dimensionamiento de este equipo se deben tener en cuenta factores como el volumen manejado (para el sistema de refrigeración se emplean 110 m<sup>3</sup> de agua), autores como Romero indican que se debe tener un volumen de seguridad equivalente a un 15% adicional y una relación altura-diámetro de 1.5.

**Ecuación 1.** Volumen del tanque homogeneizador.

$$Vol\ tanque = Vol\ de\ agua * 1.15$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$Vol\ tanque = 110m^3 * 1.15 = 126.5\ m^3$$

**Ecuación 2.** Relación altura diámetro.

$$\frac{h}{D} = 1.5$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

**Ecuación 3.** Volumen de un cilindro.

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

Reemplazando la relación altura diámetro (Ver ecuación 1) obtenemos la siguiente expresión (Ver ecuación 4).

**Ecuación 4.** Volumen de un cilindro expresado relación altura diámetro.

$$V\ cilindro = \frac{\pi}{4} 1.5D^3$$

**Fuente:** elaboración propia con base a ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

Se despejó la ecuación 4 con el fin de determinar el diámetro y la altura correspondiente y se obtuvieron los siguientes resultados para diámetro y altura:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 126.5 \text{ m}^3}{1.5\pi}} = 4.75$$

**Ecuación 5.** Relación altura diámetro tanque homogeneizador.

$\frac{h}{D} = 1.5$
---------------------

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$h = 4.75m * 1.5 = 7.1 \text{ m}$$

En el proceso de coagulación y floculación la agitación es uno de los factores que mayor influencia tiene sobre la eficiencia del mismo. La agitación en un inicio debe ser rápida para la óptima difusión del coagulante y al final debe disminuirse la velocidad de esta para generar la aglomeración de las partículas desestabilizadas. Los floculadores mecánicos pueden ser de velocidad variable lo cual aporta la flexibilidad en cuanto a velocidad de mezcla que requiere el proceso.

Para realizar una mezcla completa se implementará una hélice con paletas que formen un Angulo menor a 90° con el plano perpendicular al eje. Las hélices y turbinas de palas o aspas inclinadas son las más representativas de este tipo de agitadores y promueven la mezcla vertical<sup>61</sup>. Para su dimensionamiento se utilizaron las siguientes relaciones entre magnitudes del tanque y turbina:

---

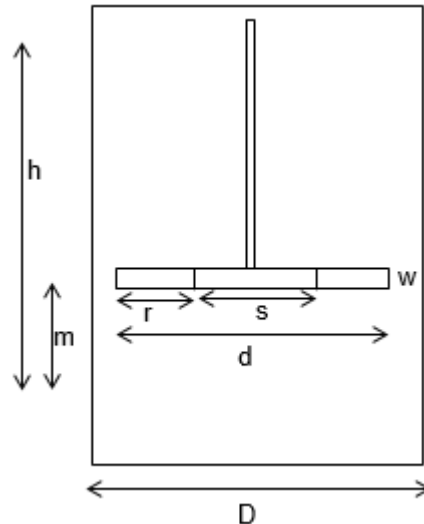
<sup>61</sup> CASTILLO, Vladimir. Diseño Y Cálculo De Un Agitador De Fluidos. Universidad del Bío-Bío, 2013. p. 22-30

**Tabla 24.** Relaciones manejadas para el dimensionamiento del tanque homogeneizador

Factor	Ecuación
Relación altura tanque y eje de las paletas.	$\frac{h}{d} = 3$
Relación altura de las paletas con ancho de las mismas.	$\frac{m}{d} = 1$
Relación disco central con el diámetro del tanque.	$s = \frac{D}{4}$
Relación eje de las paletas con ancho de una paleta.	$r = \frac{d}{4}$
Relación eje de las paletas con el grosor de las mismas.	$w = \frac{d}{5}$

**Fuente:** elaboración propia, con base a ROMERO, Jairo. Potabilización Del Agua. 3ra ed. 1995. p. 121-158

**Diagrama 9.** Dimensionamiento tanque homogeneizador.



**Fuente:** elaboración propia.

Reemplazando los datos obtenemos que el diámetro de la turbina es igual a  $d=2.37$  m, la altura sobre el fondo  $m=2.37$  m, el diámetro del disco central  $s=1.19$  m, la longitud de cada paleta impulsora será  $r=0.59$  m y el alto de las mismas  $w=0.47$  m.

4.3.5 Tanque clarificador. Después de someter el agua al proceso de coagulación y floculación es necesario realizar la clarificación de la misma mediante la sedimentación de los lodos generados. Para el dimensionamiento del tanque de sedimentación se determinó el volumen de lodos y tiempo de sedimentación promedio, estos datos se obtuvieron en la fase experimental.

**Tabla 25.** Valores experimentales de fracción de lodos y tiempo de sedimentación

Factor	Valor
Fracción de generación de lodos	$60 \text{ ml de lodos}$ $500 \text{ ml de agua tratada}$
Tiempo promedio de sedimentación del floc	$20 \text{ min}$

**Fuente:** elaboración propia, con base en ROMERO, Jairo. Potabilización Del Agua. 3ra ed. 1995. p. 121-158



Con los datos obtenidos podemos establecer que la cantidad de lodos promedio generados será 3/25 del volumen de agua tratado. Para el dimensionamiento del equipo se mantendrá una relación h/D de 1.5 y un volumen adicional de seguridad del 15%.

**Ecuación 6.** Volumen tanque clarificador.

$$Vol\ tanque = Vol\ de\ agua * 1.15$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$Vol\ tanque = 110m^3 * 1.15 = 126.5\ m^3$$

**Ecuación 7.** Volumen total de lodos.

$$Vol\ lodos = Vol.\ a\ tratar * Fracción\ de\ generación\ de\ lodo$$

**Fuente:** elaboración propia, con base en fase experimental.

$$Vol\ lodos = 126.5\ m^3 * \frac{3}{25} = 15.18\ m^3$$

**Ecuación 8.** Volumen de agua tanque clarificador.

$$Vol\ agua = Vol\ a\ tratar - Vol\ de\ lodos$$

**Fuente:** elaboración propia, con base en fase experimental.

$$Vol\ agua = 126.5m^3 - 15.18\ m^3 = 111.32\ m^3$$

Se establecen los parámetros pertinentes para la sección cilíndrica del tanque:

**Ecuación 9.** Diámetro del tanque clarificador.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{1.5\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 111.32 \text{ m}^3}{1.5\pi}} = 4.55\text{m}$$

**Ecuación 10.** Relación altura diámetro.

$$\frac{h}{D} = 1.5$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$h = 4.55\text{m} * 1.5 = 6.83 \text{ m}$$

Para la sección cónica se manejará el mismo diámetro de la sección cilíndrica y la geometría con una inclinación tradicional de 45°, tal y como lo indica Romero en sus factores de diseño<sup>62</sup>. De la ecuación 11 se despejó la altura del cono obteniendo el resultado del valor de  $h$ :

**Ecuación 11.** Volumen de un cono.

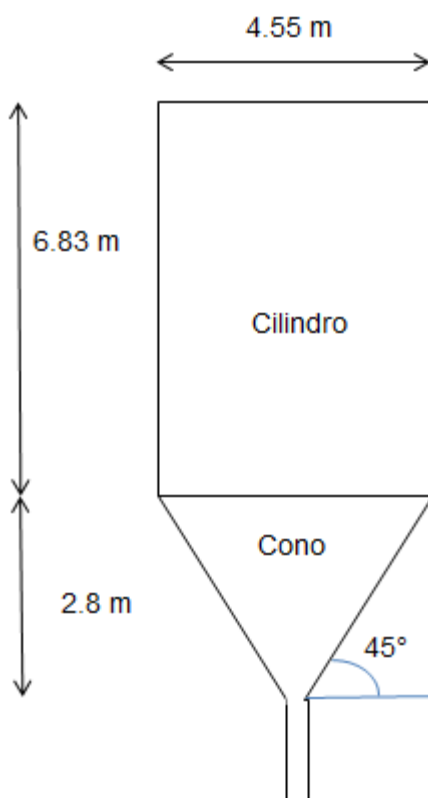
$$Vol \text{ cono} = \frac{\pi r^2 h}{3}$$

$$h = 2.8\text{m}$$

---

<sup>62</sup> ROMERO, Jairo. Potabilización Del Agua. 3ra ed. 1995. p. 121-158

**Diagrama 10.** Dimensionamiento tanque clarificador.



**Fuente:** elaboración propia.

4.3.6 Filtro. La filtración puede generarse de muchas formas: con baja o alta carga superficial mediante el uso de un lecho simple o mixto, estos lechos habitualmente emplean materiales como la arena, antracita y el granate (Cuadro 4).

Los materiales a implementar como lechos filtrantes se caracterizan por dos parámetros fundamentales; el tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad. Para determinar estos factores Romero<sup>63</sup> establece los límites especificados en el cuadro 10.

<sup>63</sup> ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

**Cuadro 4.**Tipos de filtros.

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Lentos (2-10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	Arena	Ascendentes Descendentes	Por gravedad
Rápidos (120-360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	Lecho simple 1. Arena 2. Antracita	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión
Rápidos (240-480 2- 10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	Lecho mixto: a) Lecho doble • Arena • Antracita b) Lecho triple • Arena • Antracita • Granate	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión

**Fuente:** elaboración propia con base en: PEREZ, Jorge. Tratamiento de aguas [En línea]. [Consultado el día 16 de junio del 2020]. IV Filtración. Recuperado de: [http://bdigital.unal.edu.co/70/6/45\\_-\\_5\\_Capi\\_4.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/70/6/45_-_5_Capi_4.pdf)

**Cuadro 5.** Características de lechos filtrantes.

Material	Parámetro	Valor	
		Rango	Típico
Antracita	Profundidad lecho (cm)	30-75	60
	Tamaño efectivo (mm)	0.8-0.2	1.3
	Coefficiente de uniformidad	1.3-1.8	1.6
	Tasa de filtración	120-480	240
Arena	Profundidad lecho (cm)	15-30	30
	Tamaño efectivo (mm)	0.4-0.8	0.65
	Coefficiente de uniformidad	1.2-1.6	1.5
	Tasa de filtración	120-360	180

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio de diseños

Teniendo en cuenta las características descritas anteriormente sobre los materiales y tipo de lechos, se manejará un lecho filtrante simple de antracita por las siguientes razones:

- La antracita como material filtrante genera una tasa de filtración superior en un 33% a comparación de la tasa de filtración de la arena.
- El manejo de un lecho simple hace que la fase de filtración sea más económica y mayor facilidad de mantenimiento a comparación de un lecho mixto.
- El lecho simple cumple las condiciones de filtración rápida pues soporta un alto caudal máximo por unidad de área de filtro (120-360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d).

Para el dimensionamiento conceptual de la unidad de filtrado se procederá a manejar los parámetros típicos encontrados en la literatura.

**Ecuación 12.** Caudal.

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Caudal} \frac{126.5\text{m}^3}{6\text{h}} = 21.08 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 506 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

**Ecuación 13.** Área de filtración.

$$\text{Área de filtración} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Tasa de filtración}}$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$\text{Área de filtración} = \frac{506\text{m}^3/\text{día}}{240 \text{ m/día}} = 2.11\text{m}^2$$

**Ecuación 14.** Radio del tanque de filtración

$$r = \sqrt{\frac{\text{Área de filtración}}{\pi}}$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$r = \sqrt{\frac{2.11m^2}{\pi}} = 0.82 m$$

**Ecuación 15.** Altura total tanque de filtración.

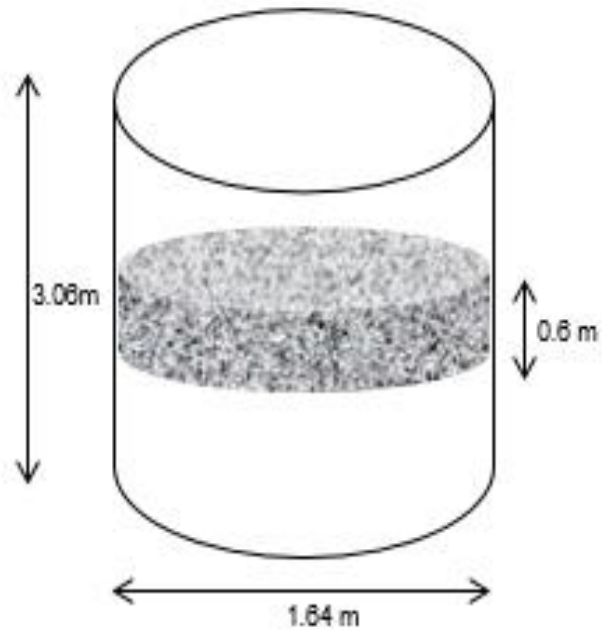
$$h = 1.5 \times D + \text{Altura lecho}$$

**Fuente:** ROMERO, Jairo. Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principio De Diseños. 1ra ed. 1999. p. 631-667

$$h = 1.5 \times (0.82 m \times 2) + 0.6m = 3.06 m$$

A partir de lo anterior se establece que el tanque de filtración de lecho simple de antracita tendrá 3.06 metros de altura, lecho de filtración con altura de 0.6 m y un diámetro de 1.64 m.

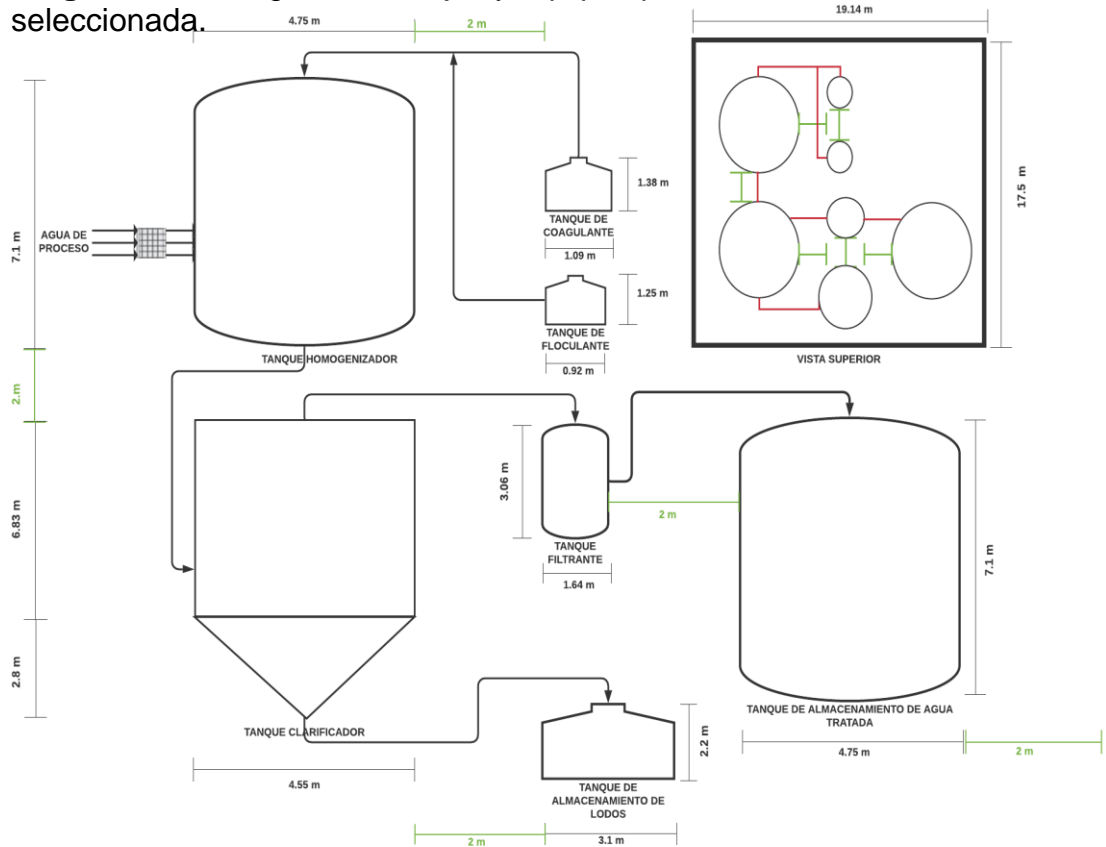
**Diagrama 11.** Dimensionamiento tanque de filtración.



**Fuente:** elaboración propia.

#### 4.3.7 Diagrama de equipos y flujos de la alternativa seleccionada

**Diagrama 12.** Diagrama de flujos y equipos para la alternativa de tratamiento seleccionada.



**Fuente:** elaboración propia.

Para fines de este proyecto se establece que la ingeniería conceptual solo abarcará la especificación de operaciones unitarias, dosificación de agentes reactivos y el dimensionamiento de los equipos principales. Con base en esto factores como la especificación de bombas, sistema de tuberías y motores se verán desarrollados en la ingeniería básica de la propuesta aquí planteada.

Para concluir con el objetivo de este capítulo se observa el dimensionamiento de los equipos y flujos en el diagrama 12, dónde se puede ver el inicio del proceso con una tubería que transporta el agua de proceso hacia una rejilla dispuesta dentro de la tubería para remover sólidos voluminosos que puedan dañar los equipos, posterior a eso pasa al tanque homogeneizador que tiene la capacidad para casi 127 m<sup>3</sup> de agua, conectado con los tanques dónde se preparan los soportes de las dosis de los reactivos para el tratamiento, después de la agitación el agua pasa al tanque clarificador para dar lugar a la sedimentación de los flóculos y la separación



de lodos, después de la sedimentación el agua pasa por el tanque con lecho filtrante que dispone el agua totalmente tratada en un tanque de almacenamiento. El área estimada para la instalación de los equipos es de 334.95m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta el área de cada tanque, el área para tránsito de los operarios que supone un perímetro de 2 m de cada equipo (Líneas verdes trazadas dentro de la vista superior del diagrama 12) y estimando las conexiones necesarias dentro de la delimitación del proyecto entre equipos (Líneas rojas en la vista superior del diagrama 12).

**Tabla 26.** Descripción y dimensionamiento de equipos.

Equipo	Descripción	Cantidad	Dimensiones (m)	
			Altura	Diametro
Rejilla	Malla filtrante con orificios de 5 mm.	1	0.5	0.5
Tanque Botella Coagulante	Tanque de almacenamiento de polietileno de 1100 L.	1	1.38	1.09
Tanque Botella Floculante	Tanque de almacenamiento de polietileno de 600 L	1	1.25	0.92
Tanque Homogenizador	Tanque de almacenamiento de lámina SS304 con agitador de paleta, de 127 m3.	1	7.1	4.75
Tanque Clarificador	Tanque cónico de lámina SS304, y soporte con tubería 6" de 3 m de longitud, de 127 m3.	1	6.83	4.55
	Sección cónica en lámina SS304 de 45°.	1	2.8	4.55
Tanque para Lodos	Tanque de almacenamiento de PVC de 16000 L de capacidad.	1	2.2	3.1
Tanque filtrante	Tanque filtrante de Antracita, en lámina SS304.	1	3.06	1.64
Tanque de Almacenamiento de Agua tratada	Tanque de almacenamiento de lámina SS304, de 127 m3.	1	7.1	4.75

**Fuente:** elaboración propia

## 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se hace una estimación de costos para la obtención de los equipos e insumos necesarios en el desarrollo de la alternativa propuesta anteriormente, haciendo la estimación de que con la implementación de esta se haría el tratamiento una vez por mes.

### 5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

La estimación de costos de inversión se realiza teniendo en cuenta el diagrama 4.3.7.

**Tabla 27.** Estimación de costos de Inversión

Equipos	Cantidad (UND)	Precio (COP)
TANQUE BOTELLA DE POLIETILENO 600L	1	\$217,740.00
TANQUE BOTELLA DE POLIETILENO 1100L	1	\$389,078.00
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PVC 20000 L	1	\$13,850,000.00
TANQUE HOMOGENIZADOR	1	\$156,780,180.00
TANQUE CLARIFICADOR	1	\$168,925,500.00
TANQUE DE FILTRACIÓN	1	\$30,650,220.00
TANQUE DE ALMACENAMIENTO REJILLA TEJIDA	1	\$156,780,180.00
	1	\$907,970.00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>\$528,500,868.00</b>

**Fuente:** elaboración propia con apoyo de información presupuestal de cotizantes externos (Ver anexos D, E, H, I).

La inversión inicial estimada del proyecto es de \$528, 500,868.00 COP que no tiene en cuenta las adecuaciones físicas que deben hacerse para la implementación de la alternativa.

## 5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Estos costos están determinados por el costo de insumos y mano de obra.

5.2.1 Costos de insumos. Estos costos vienen determinados por la cantidad necesaria de los reactivos seleccionados, la frecuencia del tratamiento y el precio de los reactivos.

**Tabla 28.** Costos de insumos

	<b>Clarifier CB-176</b>	<b>Floaid PA-030</b>	<b>Agua potable</b>
PRESENTACIÓN	100 kg	1 kg	1000 L
PRECIO (COP)	\$ 192,000.00	\$ 15,000.00	\$ 3,766.32
CONSUMO MENSUAL	55.39 kg	0.275 kg	1607.7 L
CONSUMO ANUAL	664.61 kg	3.3	19292.28 L
COSTO MENSUAL (COP)	\$ 106,348.80	\$ 4,125.00	\$ 6,055,099.78
COSTO ANUAL (COP)	\$ 1,276,185.60	\$ 49,500.00	\$ 72,660,745.46
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 73,986,431.06</b>

**Fuente:** elaboración propia

Estos costos están dados según los requerimientos calculados en el capítulo anterior, definiendo que el costo anual en insumos es de \$73'986.431,06 COP.

5.2.2 Costos de mano de obra. Para la determinación se tiene en cuenta la cantidad de veces al mes que va a ser necesaria la intervención del operario para el funcionamiento del sistema, usando operadores técnicos que estén en la capacidad de desempeñar las labores de mantenimiento y el seguimiento del proceso propuesto, este personal técnico está actualmente dispuesto para esta área en la compañía tomando como base el salario mínimo para el 2020 con un valor de \$1.601.906 COP.

**Tabla 29.** Costos de mano de obra

<b>Item</b>	<b>Valor mensual (COP)</b>
Salario mínimo legal vigente	\$ 1,601,906.00
Auxilio de Transporte	\$ 102,854.00
Salud	\$ 74,613.00
Pensión	\$ 105,336.00
ARL (Riesgo 3)	\$ 20,173.00
Vacaciones	\$ 36,604.00
Cesantías	\$ 7,312.00
Prima de Servicios	\$ 7,312.00
Dotación	\$ 43,890.00
<b>TOTAL MENSUAL</b>	\$ 2,000,000.00
<b>TOTAL ANUAL</b>	\$ 24,000,000.00

**Fuente:** elaboración propia

El costo anual de mano obra es de \$24,000,000 COP, costo que tiene especificado dentro de sí todas las prestaciones de ley configuradas para el presente año, además tiene en cuenta dentro del perfil del operario las funciones de mantenimiento y limpieza básicas requeridas para el correcto funcionamiento del proceso, el mantenimiento preventivo y de instrumentación no puede ser especificado con el alcance de la ingeniería conceptual aquí propuesta ya que no se cuenta con la determinación de tuberías y bombas, equipos generalmente propensos a establecerse dentro del plan de mantenimiento.

5.2.3 Costo total de operación. El costo de operación anual resulta de la suma de los costos de insumos y mano de obra.

**Tabla 30.** Costo total de operación anual.

<b>Costos</b>	<b>COP</b>
INSUMOS	\$ 73,986,431.06
MANO DE OBRA	\$ 24,000,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 97,986,431.06</b>

**Fuente:** elaboración propia

El costo total de implementación, en inversión y un año de costos de operación, es de \$626,487,299.06 COP con la utilización de una vez por mes el tratamiento del volumen total del agua involucrada en el sistema de refrigeración este monto es equivalente también al costo de cambiar 1.51 veces los 110 m<sup>3</sup> de agua del sistema por agua pura. La alternativa permite un uso responsable del recurso hídrico recirculándolo por el proceso y reduciendo los vertimientos ya que el sistema promete trabajar con máximos dos lotes de agua que se tratarían constantemente para cumplir con las funciones del sistema de refrigeración.

## 6. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una propuesta de tratamiento que consiste en un tratamiento físico-químico primario para el volumen de agua involucrado en el sistema de refrigeración de la empresa Iberplast S.A.S que garantiza la disminución del porcentaje de turbidez hasta un 93.8%.
- Del diagnóstico del estado del agua se evidenció que hay puntos específicos del muestreo donde los parámetros incumplen los límites establecidos, pero son camuflados cuándo la información tiene un enfoque a nivel macro, las áreas con mayor incumplimiento son Cajas y Preformas.
- Se seleccionó la alternativa de tratamiento que implica el desbaste, la homogenización, la coagulación-floculación y la filtración por gravedad cómo el proceso integral de tratamiento.
- Se diseñó la ingeniería conceptual de la alternativa propuesta, haciendo el dimensionamiento de los equipos principales para el desarrollo de la alternativa seleccionada, sin hacer estimación de la tubería y bombas siendo estas responsabilidades de una ingeniería básica y de detalle.
- Se hizo la estimación de los costos para la implementación de la alternativa dando cómo total \$626,487,299.06 COP para el primer año teniendo en cuenta costos de inversión y de operación, valor equivalente a cambiar 1.51 veces los 110 m<sup>3</sup> del agua del sistema por agua pura.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda una alternativa de tratamiento de los lodos residuales, haciendo disposición de ellos a cargo de una empresa especializada o generándola cómo materia prima en estudios e investigaciones que utilicen biosólidos.
- Se recomienda la conceptualización y adición de un regulador de pH en el tratamiento al sistema de refrigeración para contrarrestar el efecto de la adición de agentes coagulantes y floculantes sobre este factor.
- Se recomienda hacer la evaluación de la propuesta aquí establecida como una ingeniería básica y de detalle, que permita conocer los requerimientos logísticos, de mantenimiento y energéticos para su completo desarrollo.
- Se recomienda evaluar la intervención de mantenimiento completo, preventivo y correctivo de todo el sistema de tuberías.

## BIBLIOGRAFIA

ASRAFUZZAMAN, Md; FAKHRUDDIN, A. N. M. y HOSSAIN, Md Alamgir. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. ISRN Microbiology. 2011, vol. 2011, pp. 7.

BRAVO, Monica. COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, COLORANTES Y METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES. [En línea]Universidad Francisco José de Caldas, 2017. 16 p.

CARDOZO, Jonatan. Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas, Para Lavado Automotor, Para La Empresa Translogam S.A.S. Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas, Para Lavado Automotor, Para La Empresa Translogam S.A.S. 2017.

CASTILLO, Vladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. [En línea]Universidad del Bío-Bío, 2013.

COGOLLO, Juan. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. 2011, vol. 78, 10 p.

DE SOUSA, Cristina; CORREIA, Angelina y COLMENARES, María Cristina. Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. Boletín de Malariología y Salud Ambiental. 2010, vol. 50, nro. 2. pp. 187-196.

DALTHON, Dino y CALCINA, Ururi. Evaluación del proceso de sedimentación con poliacrilamida anionica en las aguas residuales del circuito de pozas de la unidad operativas minera Halcon de oro- ANANEA [En línea] Tesis. Universidad Nacional de Altiplano, Puno Perú.: 2018. Pág 23 [Consultado 25 de abril 2020] Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9336>.

DOMÍNGUEZ, María Fernanda. Optimización de la Coagulación – Flocculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre - Cajasan [En línea] Tesis. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia: 2010. Pág 14 [Consultado 26 de abril 2020] Disponible en: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital\\_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

FERNÁNDEZ ALBA, Antonio. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: Informe de Vigilancia tecnológica [informe en línea], vt, no. 2 (2006). [Consultado el 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/9396/10617/>.



FIERRO, Vivian y RAMÍREZ, Paula. Evaluación del proceso de remoción de hierro por medio de la zeolita clinoptilolita en el tratamiento de aguas. [En línea] Tesis. Universidad de América, Bogotá D.C 2016. [Consultado: 10/06/2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/834>.

FUQUENE, Diana y YATE, Viviana. Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Bogotá, Colombia: 2018. pp. 2.

HANNA, Catálogo. Instrumentación Para La Agricultura. Instrumentación Para La Agricultura. Italia: pp. 24.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión Ambiental, Agua, Procedimiento para el método de Jarras en la coagulación-floculación del agua. NTC 3903. [En línea] Colombia, 2001. [Consultado 25 de abril 2020] Disponible en: [https://www.academia.edu/18093528/NORMA\\_NTC\\_3903](https://www.academia.edu/18093528/NORMA_NTC_3903).

IBERPLAST S.A.S. IberPlast. [En línea]. [Consultado: 10/02/2020]. Disponible en: <https://www.iberplast.com.co/>.

LTDA, Yareth Quimicos. TURBIDIMETRO PORTATIL TPW / TPI HF SCIENTIFIC. [En línea]. [Consultado: May 21, 2020]. Disponible en: [http://www.yarethquimicos.com/Turbidimetro\\_Portatil\\_TPW-TPI\\_HF\\_SCIENTIFIC\\_Yareth\\_Quimicos\\_Ltda.html](http://www.yarethquimicos.com/Turbidimetro_Portatil_TPW-TPI_HF_SCIENTIFIC_Yareth_Quimicos_Ltda.html).

MERUS. Sistema Abierto de Agua de Refrigeración [Recurso en línea]. 2019. [Consultado el 22 de agosto de 2019]. Disponible en < [https://www.merus.es/sistema-abierto\\_agua-refrigeracion/](https://www.merus.es/sistema-abierto_agua-refrigeracion/)>.

MINISTERIO DE AMBIENTE. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. [En línea].2019. [Consultado: 28 de Julio de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/direccion-integral-de-recurso-hidrico/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>).

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución2674 de 2013 [en línea].2013. [Consultado: 28 de Julio de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>).

OIDOR PULIDO, Diana. DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA BIOBRILL S.A.S [En línea] Tesis. Fundación Universidad de América, 2018. 55 p.

PERNITSKY, David J. y EDZWALD, James K. Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications. Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua. 2006, vol. 55, nro. 2. 21p.

# ANEXO A. HOJA TÉCNICA HUSKY

**HUSKY**

v 2.2 — March 2010

HyPET Injection Molding Machine

**Table 3-8 General**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
pH	pH units	7.2 to 9.5	7.2 to 9.0
Ryznar Stability Index	RSI	5.0 to 6.0	5.0 to 6.0
Conductivity	µmhos/cm	< 3,000	1000 to 2000
Total Hardness (as CaCO <sub>3</sub> )	ppm	< 10	60 to 800
Calcium Hardness (as CaCO <sub>3</sub> )	ppm	< 10	60 to 800
"M" Alkalinity (Total, as CaCO <sub>3</sub> )	ppm	—	< 500
"P" Alkalinity (Total, as CaCO <sub>3</sub> )	ppm	0	0

**Table 3-9 Cations**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Total Iron (as Fe)	ppm	< 0.5	< 1.0
Manganese (as Mn)	ppm	< 0.05	< 0.05
Copper (as Cu)	ppm	< 0.05	< 0.1
Aluminum (as Al)	ppm	< 0.1	< 0.1

**Table 3-10 Anions**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Free Chlorine (as Cl <sub>2</sub> )	ppm	< 0	< 1.0
Chloride (as Cl)	ppm	< 400	< 400
Sulfate (as SO <sub>4</sub> )	ppm	< 300	< 300
Silica (as SiO <sub>2</sub> )	ppm	< 150	< 150

**Table 3-11 Microbiological Activity**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Sulfate Reducing Bacteria <sup>[19]</sup>	Col./ml	< 1	< 1
Total Aerobic Bacteria	Col./ml	< 10000	< 10000

[19] Detection of bacteria living under deposits in the bulk water may not reveal the actual severity and degree of contamination in the system.

Máquina - EcoDry

### 3.5 Electrical Power Specifications

Electrical power supply specifications for the machine are listed on the electrical schematic and the nameplate on the electrical cabinet.

In addition to these specifications, the electrical power supply must also meet the following requirements:

- All power cables must be rated according to the specifications in the electrical schematic for the machine and hot runner (optional). Specifications are also provided on the machine and the hot runner nameplates.

**NOTE:** Supply voltage may vary up to  $\pm 10\%$  of the value on the electrical cabinet nameplate and electrical schematic.

**NOTE:** Supply frequency may vary up to  $\pm 1\%$  continuously of the value on the electrical cabinet nameplate and electrical schematic.

- Supply voltage to electric motors must come from a solidly grounded wye (star) source. If a solidly grounded wye source is not used, an isolation transformer must be installed to create the solidly grounded wye source for the drive system.

Contact your nearest Husky Regional Service and Sales office for additional information, if required.

- The prospective short circuit fault level at the main equipment terminals must be no more than 10,000 A RMS symmetrical.
- For auxiliary equipment, the available fault current at the connection point to the equipment must not be greater than the short circuit current rating marked on the panel nameplate.

### 3.6 Machine Cooling Water Specifications

The cooling water for the machine must comply with certain specifications.

#### 3.6.1 Machine Cooling Water Chemistry

The following details the recommended chemistry of the cooling water:

**NOTE:** Recommended values represent conditions under which most problems associated with poor water quality can be controlled using normal water treatment additives. They do not represent water that can be used untreated. Meeting the recommended values does not guarantee that cooling water is not corrosive. It is important that all metals in the cooling system be protected using suitable corrosion inhibitors.



#### **IMPORTANT!**

The values specified are typical recommended values that may be achievable in most cooling systems. Deviations from these values may be necessary, but should be reviewed with your water treatment company first.

**Table 3-12 Solids**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Suspended Solids	ppm	< 10	< 10
Solid Size (< 5 µm side stream filters recommended)	µm	< 5	< 5

**Table 3-13 Maximum Corrosion Rate<sup>[20]</sup>**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Mild Steel	mils Per Year	< 1.0	< 2.0
Copper	mils Per Year	< 0.25	< 0.2
Aluminium	mils Per Year	< 0.25	< 0.5
Zinc	mils Per Year	< 2.0	< 2.0

[20] Corrosion rate of 90 day test specimens, if used

### 3.6.2 Machine Cooling Water Guidelines

**CAUTION!**

**Failure to abide by these guidelines for tower and chilled water quality could result in damages to the injection molding system and may void the warranty.**

Cooling water treatment is required to protect molds, injecting molding machines, chillers, cooling towers, piping and other water cooled equipment from corrosion and deposits fouling inside the cooling channels.

Corrosion can lead to water leaks and failure of mold/machine components.

Deposits in the cooling channels can reduce heat transfer, resulting in:

- reduced efficiencies
- longer molding cycles
- reduced part quality
- increased maintenance
- increased costs

Since local water supplies vary widely in quality, Husky recommends that you work with reputable water treatment companies in your area to establish a water treatment program.

**Table 3-2 Cations**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Total Iron [as Fe]	ppm	< 0.5	< 1.0
Manganese [as Mn]	ppm	< 0.05	< 0.05
Copper [as Cu]	ppm	< 0.05	< 0.1
Aluminum [as Al]	ppm	< 0.1	< 0.1

**Table 3-3 Anions**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Free Chlorine [as Cl <sub>2</sub> ]	ppm	< 0	< 1.0
Chloride [as Cl]	ppm	< 400	< 400
Sulfate [as SO <sub>4</sub> ]	ppm	< 300	< 300
Silica as [SiO <sub>2</sub> ]	ppm	< 150	< 150

**Table 3-4 Microbiological Activity**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Sulfate Reducing Bacteria <sup>[2]</sup>	Col./ml	< 1	< 1
Total Aerobic Bacteria	Col./ml	< 10000	< 10000

[2] Detection of bacteria living under deposits in the bulk water may not reveal the actual severity and degree of contamination in the system.

**Table 3-5 Solids**

Constituents	Units	Cooling Water System	
		Closed Loop Chiller	Tower Water
Suspended Solids	ppm	< 10	< 10
Solid Size (< 5 µm side stream filters recommended)	µm	< 5	< 5



### 3.5 Mold Cooling Water Specifications

The cooling water for the mold must comply with certain specifications.

#### 3.5.1 Chilled Water

The operating temperature range for chillers should range between 9 to 10 °C (48 to 50 °F). Sufficient flow must be supplied to maintain a maximum temperature differential of 2 °C (36 °F) with a minimum pressure drop of 4 bar (60 psi).

#### 3.5.2 Cooling Water Chemistry

The following details the recommended chemistry of the cooling water:

**NOTE:** Recommended values represent conditions under which most problems associated with poor water quality can be controlled using normal water treatment additives. They do not represent water that can be used untreated. Meeting the recommended values does not guarantee that cooling water is not corrosive. It is important that all metals in the cooling system be protected using suitable corrosion inhibitors.



**IMPORTANT!**

The values specified are typical recommended values that may be achievable in most cooling systems. Deviations from these values may be necessary, but should be reviewed with your water treatment company first.

**Table 3-1 General**

Constituents	Units	Cooling Water System		SACMI
		Closed Loop Chiller	Tower Water	
pH <sup>[1]</sup>	pH units	7.2 - 9.5	7.2 - 9.0	8.0 - 9.0
Ryznar Stability Index	RSI	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0	
Conductivity	µmhos/cm	< 3000	1000 - 2000	1200 - 180
Total Hardness [as CaCO <sub>3</sub> ]	ppm	< 10	60 - 800	50 - 60
Calcium Hardness [as CaCO <sub>3</sub> ]	ppm	< 10	60 - 800	
*M* Alkalinity (Total) [as CaCO <sub>3</sub> ]	ppm	—	< 500	
*P* Alkalinity (Total) [as CaCO <sub>3</sub> ]	ppm	0	0	

[1] If there is aluminum in the system (i.e. take-off systems), then a maximum pH value of 8.5 is recommended.

*Robot y Molde.*

**Table 1-6: Anions**

Component	Specification
Chloride (Cl)	< 40 mg/L or ppm
Free Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	< 1.0 mg/L or ppm
Silica as (SiO <sub>2</sub> )	< 50 mg/L or ppm
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	< 50 mg/L or ppm

**Table 1-7: Microbiological Activity**

Component	Specification
Sulfate reducing bacteria	< 1 Col./ml
Total aerobic bacteria	< 10,000 Col./ml

**Table 1-8: Solids**

Component	Specification
Particulate matter	< 3 mg/L or ppm
Solid Size	< 100 µm

**Table 1-9: Maximum Corrosion Rate**

Component	Specification
Mild steel	< 76.2 µm per year
Copper	12.7 µm per year
Aluminum	

**Table 1-10: Machine Cooling Water Specifications**

Component	Specification
Water supply and return fittings	¾" female NPT
Flow rate	75 Lpm (20 gpm)
Inlet pressure	< 4 bar (< 58 psi)
Inlet temperature	10–35 °C (50–95 °F)—non-condensing

**Table 1-11: XFORM Mold Cooling Water Specifications**

Component	Specification
Water supply and return fittings	2" female NPT (150) 3" female NPT (300)
Manifold fittings (cavity)	1-¼" female NPT* (150) 1-½" female NPT* (300)
Manifold fittings (hot runner)	½" female NPT* (150) ¾" female NPT* (300)
Manifold fittings (core)	1-½" female NPT* (150) 2" female NPT* (300)
Flow rate	Mold-dependent



**Table 1-2: Electrical Power Supply Requirements**

Requirement	Specification
Supply voltage	Voltage may vary up to 10%.
Supply voltage to electric motors	Supply should come from a solidly grounded wye (star) source. If a solidly grounded wye source is not used, then an isolation transformer must be installed to create the solidly grounded wye source for the drive system
Supply frequency	Frequency may vary up to 1% continuously.
Short circuit	Prospective short circuit fault level at the main equipment terminals must be no more than 5,000 A RMS symmetrical.

**Table 1-3: Electrical Supply and Circuit Breaker Requirements**

Main Circuit Breaker	Main Supply Line	Hot Runner Breaker	Hot Runner Supply
400 A, Adjustable Trip 300 A	440 VAC, 60 Hz, 3Ph+N+PE, 250 FLA	125 A, Fixed Trip	400 VAC, 60 Hz, 3Ph+N+PE, 125 FLA

### 1.3 Air & Water Supply Specifications

**CAUTION!** Check the intended mold's water supply specifications and ensure they are met. Follow the more demanding of the specifications to ensure neither is damaged.

**CAUTION!** Meeting the water supply specifications does not guarantee the water will not cause corrosion. All metals in the cooling system should use appropriate corrosion protection.

**Table 1-4: Constituents**

Component	Specification
pH	7.0–8.5 pH units
Conductivity	< 50 µmhos/cm
Total hardness	60–180 mg/L or ppm
Calcium carbonate hardness (CaCO <sub>3</sub> )	55–140 mg/L or ppm
Free carbonic acids	8–15 mg/L or ppm
Oxygen (O <sub>2</sub> )	< 10 mg/L or ppm
Nitrates and nitrites	< 10 mg/L or ppm
CSB	< 7 mg/L or ppm
Ammonia	< 5 mg/L or ppm
Evaporation residue	< 350 mg/L or ppm
Potassium permanganate consumption	< 25 mg/L or ppm

**Table 1-5: Cations**

Component	Specification
Aluminum (Al)	< 0.1 mg/L or ppm
Copper (Cu)	< 0.2 mg/L or ppm
Manganese (Mn)	< 0.2 mg/L or ppm

## ANEXO B. HOJA DE SEGURIDAD CLARIFIER CB-176



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICLIENTE@ACQUOSA.COM

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIAL (MSDS)

### SECCION 1 - IDENTIFICACION DEL PRODUCTO QUIMICO Y LA COMPAÑÍA

**EMPRESA:** ACQUOSA TECNICA SAS

**DISTRIBUIDOR POR:** ACQUOSA TECNICA SAS

**TELEFONOS DE EMERGENCIA - 24 HORAS:** CISPROQUIM 57+1+2886012 EN BOGOTA  
018000916012A NIVEL NACIONAL

**NOMBRE COMERCIAL:** CLARIFIER CB-176



### SECCIÓN 2 - IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

<b>EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD</b>		<b>LIMITES DE TOLERANCIA</b>	
<b>OJOS:</b> Corrosivo. puede causar daños en los ojos si entrar en contacto directo		TLV	TWA
<b>INHALACIÓN:</b> Puede causar irritación temporaria en las vías respiratorias		2 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>
<b>INGESTIÓN:</b> Irritante. puede provocar daños en las mucosas del sistema digestivo		N/A	N/A
<b>CONTACTO CON LA PIEL:</b> Irritante. contacto prolongado puede provocar quemaduras			

### SECCIÓN 3 – COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

**DESCRIPCION QUIMICA:** Mezcla de coagulantes inorgánicos / polielectrolitos orgánicos

**COMPONENTE:** Mezcla, cloruro de aluminio

**DESCRIPCIÓN FISICA:** Líquido ámbar traslucido.

**CLARIFIER CB-176**  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 1 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICLIENTE@ACQUOSA.COM

#### SECCIÓN 4 – MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

**OJOS:** Lave con bastante agua por 15 minutos por lo menos. Mantenga los párpados de la víctima abiertos durante el lavado. No use antídoto químico. Procure asistencia médica.

**INHALACION:** Coloque la víctima en un local ventilado y si está con dificultad para respirar, aplique respiración artificial (boca a boca). Procure asistencia médica.

**INGESTION:** No inducir el vómito. Si la víctima está consciente, dé de beber agua fría lentamente. En los casos de ingestión de gran cantidad del producto, deben ser tomadas medidas contra choque. Procure asistencia médica.

**PIEL:** Lave con bastante agua por 15 minutos por lo menos. Retire las ropas contaminadas durante el lavado. Procure asistencia médica.

**NOTA PARA LOS MÉDICOS:** Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

#### SECCIÓN 5 – MEDIDAS CONTRA INCENDIO

**PUNTO DE INFLAMACION(°C):** NP VA ( ) VC ( )

**LIMITES DE INFLAMABILIDAD EN AIRE (% EN VOLUMEN):**ND INFERIOR SUPERIOR

**TEMPERATURA DE AUTO IGNICION (°C):** No disponible

**MEDIOS DE EXTINCION:**

Espuma química (X) CO<sub>2</sub> (X) Polvo químico (X) Agua (X) Niebla agua (X)

**PROCEDIMIENTOS ESPECIALES/OTROS:** Si ocurriera calentamiento extremo de los envases, use chorros de agua bajo forma de niebla para enfriarlas.

#### SECCIÓN 6 – MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Aislar el área. Colóquese a favor del viento. Absorba el derrame con material inerte (tierra, arena, vermiculita, etc.). Remueva el producto con herramientas adecuadas (palas, azadones, etc.). Coloque en recipientes apropiados. Lave el local con bastante agua.

#### SECCIÓN 7 - MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**MANEJO:** Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Mantener alejado de materiales incompatibles

CLARIFIER CB-176  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 2 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICIENTE@ACQUOSA.COM

**ALMACENAMIENTO:** Lugares ventilados, frescos y secos. lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y manténgalos bien cerrados. Almacenamiento general (naranja).

#### SECCIÓN 8 – CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

**CONTROLES DE INGENIERIA:** Use en área ventilada y/o con ventilación mecánica

**PROTECCION RESPIRATORIA:** Use mascara con filtro contra vapores ácidos, semifacial,

**OJOS:** Use anteojos de seguridad panorámicos y/o yelmo facial.

**MANOS:** Use guantes impermeables, puño largo, de PVC.

**COMENTARIOS ADICIONALES:** Use delantal y botas impermeables. lávese después de manipular el producto.

#### SECCION 9 – PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

**ASPECTO Y OLOR:** Liquido límpido a levemente turbio, de amarillo/ámbar a verde / olor penetrante

**PUNTO DE EBULLICION (°c) (760 mmhg):**98 mínimo **TASA DE EVAPORACION (bu ac = 1)** ND

**PUNTO DE FUSION (°C):** NP **DENSIDAD (g/cm<sup>3</sup>) (25°c):** 1.285 - 1.333

**PUNTO DE CONGELAMIENTO (°C):** < -5°c **PRESION DE VAPOR:** ND

**SOLUBILIDAD EN AGUA:** 100% **SOLUBILIDAD EN OTROS SOLVENTES:** ND

**PH (25°c):** 2.0 - 3.0 **VISCOSIDAD (mpa.s) (25°c):** < 50

**DENSIDAD DE VAPOR (aire=1):** > 1

#### SECCION 10 - ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**ESTABILIDAD:** ( ) Inestable ( X ) Estable

**PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICION:** Térmica(incendio): Puede liberar óxidos elementales

**RIESGO DE POLIMERIZACION:** ( ) Puede ocurrir ( X ) No ocurrirá

**CLARIFIER CB-176**  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 3 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICIENTE@ACQUOSA.COM

**CONDICIONES A EVITAR:** Evite exponer el producto a medios básicos y oxidantes

#### SECCION 11 – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

**Datos de toxicidad:** El producto es clasificado como tóxico moderado, en lo que se refiere a los parámetros de toxicidad dérmica, oral y de inhalación.

#### SECCIÓN 12 – INFORMACIÓN ECOLÓGICA

No disponible.

#### SECCIÓN 13 - CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

**RESIDUOS:** Evite que los residuos y/o agua de lavadura entren en contacto con fuentes de agua potable. los residuos pueden ser eliminados en pequeñas cantidades en estaciones de tratamiento de efluentes, incinerándolos o de acuerdo con la legislación ambiental local.

**ENVASES:** Los envases no desechables tienen su uso prohibido para almacenamiento de productos para consumo humano y animal. Los envases vacíos pueden contener residuos de productos (vapor, líquido y/o sólido), por lo tanto todas las precauciones de riesgo contenidas en esta ficha deben ser observadas.

#### SECCIÓN 14 - INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

<b>CORROSIVO</b> 	<b>CLASE DE RIESGO (IMO): 4</b>
	<b>ONU: 3264</b>
	<b>CLASE IATA:</b> N.A.

**CLARIFIER CB-176**  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 4 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA





ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICIENTE@ACQUOSA.COM

#### SECCIÓN 15 - INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Identificación
Salud (1)
Inflamabilidad(0)
Reactividad (0)
Especial (0)



NFPA – CÓDIGOS	
4	EXTREMO
3	ALTO
2	MODERADO
1	LIGERO
0	SIN RIESGOS

1. Ley 769/2002. código nacional de tránsito terrestre. artículo 32: la carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta conforme a la normatividad técnica nacional.
2. Los residuos de esta sustancia están considerados en: ministerio de salud. resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales.
3. NTC 4435 transporte de mercancías. hojas de seguridad para materiales
4. Decreto 1609 de 2002 Manejo y transporte de mercancías peligrosas

#### SECCIÓN 16 – OTRA INFORMACIÓN

**PRECAUCIONES.** la información presentada aquí es exacta y confiable. el uso de esta información y las condiciones de uso del producto es responsabilidad del cliente. no aceptamos responsabilidad legal por cualquier pérdida o daño ocasionado al cliente. sin embargo, nuestro personal técnico estará complacido en responder preguntas relacionadas con los procedimientos de manejo y uso seguro.

Control de versiones:

Estado de la MSDS: Revisada en contenido general

Fecha de aprobación: 01-02-2019

Número de la MSDS: ACQ-HSP-021

Elaborado Dpto. Técnico AcquosaTecnika SAS

CLARIFIER CB-176  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 5 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA

## ANEXO C. HOJA DE SEGURIDAD FLOAID-PA30



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICLIENTE@ACQUOSA.COM

### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIAL (MSDS)

#### SECCION 1 - IDENTIFICACION DEL PRODUCTO QUIMICO Y LA COMPAÑÍA

**EMPRESA:** ACQUOSA TECNICA SAS

**DISTRIBUIDOR POR:** ACQUOSA TECNICA SAS

**TELEFONOS DE EMERGENCIA - 24 HORAS:** CISPROQUIM 57+1+2886012 EN BOGOTA  
018000916012 A NIVEL NACIONAL

**NOMBRE COMERCIAL:** FLOAID PA-030

**CÓDIGO DEL PRODUCTO:** N.A



#### SECCIÓN 2 - IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

	<b>GUIA DE RIESGO:</b> No aplicado
<b>OJOS:</b> Puede causar irritación temporaria en los ojos <b>INGESTIÓN:</b> Puede causar irritación temporaria en las mucosas del sistema digestivo <b>CONTACTO CON LA PIEL:</b> Exposición primaria: Puede causar leve irritación de la piel	<b>LIMITES DE TOLERANCIA</b> TLV TWA N.A. N.A.

#### SECCIÓN 3 – COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

**COMPONENTE** Poliacrilamida catiónica

Otros sin denominación especifican

**DESCRIPCIÓN FISICA:** Polvo granular, Sin olor, Color blanco.

#### SECCIÓN 4 – MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

**OJOS:** Lave con bastante agua por 15 minutos por lo menos. Mantenga los párpados de la víctima abiertos durante el lavado. No use antídoto químico. Procure asistencia médica.

**INHALACION:** Si aparecen síntomas de irritación provocada por inhalación de partículas del producto, coloque la víctima en un local ventilado. Procure asistencia médica.

**FLOAID PA-030**  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 1 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICIENTE@ACQUOSA.COM

**INGESTION:** Si la víctima está consiente, dé de beber agua fría lentamente. Procure asistencia médica. la inducción de vómito debe ser efectuada con orientación médica.

**PIEL:** Si el producto está en solución, por el motivo de ser viscoso es difícil removerlo con agua. retire con un papel absorbente y luego proceda al lavado normal con agua, hasta la remoción total del producto. retire las ropas contaminadas durante el lavado. procure asistencia médica en el caso de que continúe la irritación.

**FUEGO:** Combate al fuego debe ser efectuado con vestimenta apropiada, sistema de respiración positiva autónomo, tipo máscara facial. medios de extinción: polvo químico seco, CO<sub>2</sub>, espuma o agua. el contacto del producto con el agua deja el local resbaloso. esparza arena.

**NOTA PARA LOS MÉDICOS:** Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

#### SECCIÓN 5 – MEDIDAS CONTRA INCENDIO

**MEDIOS DE EXTINCION:** Espuma química, polvo químico seco, dióxido de carbono. si el fuego es mayor, agua en forma de niebla

**PROCEDIMIENTOS ESPECIALES/OTROS:** Ataque el fuego con el viento en la espalda. Evite formación de nubes de polvo por el peligro de explosión de polvo.

**EQUIPO DE PROTECCIÓN:** Use ropa protectora normal de bomberos y equipo de respiración autónoma.

#### SECCIÓN 6 – MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

**CONTENCIÓN Y PROTECCIÓN DEL DERRAMAMIENTO:** Ventile el área. use equipo de protección individual (epi). contenga y absorba con material absorbente disponible. recoja en recipientes apropiados lave el local con agua. el local puede quedar resbaloso en contacto con el agua. esparza arena.

**DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS:** El agua contaminada con el producto puede ser enviada para efluente industrial para tratamiento, dispuesta de acuerdo con la legislación local a través de permiso para disposición de los residuos. el producto puede ser incinerado o colocado en soterró industrial.

#### SECCIÓN 7 - MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**MANEJO:** Usar los procedimientos seguros normales para trabajar con sustancias químicas sólidas. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Proteger contra daños físicos

**ALMACENAMIENTO:** Lugares ventilados, frescos y secos. lejos de fuentes de calor e ignición. separado de materiales incompatibles. rotular los recipientes adecuadamente y manténgalos bien cerrados. Mantenga alejado de sustancias incompatibles. Tome medidas para no generar polvo.

#### SECCIÓN 8 – CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

**CONTROLES DE INGENIERIA:** Use en área ventilada y/o con ventilación mecánica.

**PROTECCION RESPIRATORIA:** Use máscara con filtro, semifacial.

FLOAID PA-030  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 2 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA





ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICIENTE@ACQUOSA.COM

**OJOS:** Use gafas de seguridad panorámicos.

**MANOS:** Use guantes de látex o PVC.

**COMENTARIOS ADICIONALES:** Lávese después de manipular el producto.

#### SECCION 9 – PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

**ASPECTO:** Polvo granular incoloro

**APARIENCIA Y OLOR:** Blanco, Inoloro

**SOLUBILIDAD EN AGUA:** Soluble. Produce una solución altamente viscosa

**VISCOSIDAD** (mpa.s) (25°C): 4000 max. (Solución a 0.1%)

**CONCENTRACIÓN:** >/= 87%

**TEMPERATURAS ESPECÍFICAS Y/O RANGOS DE TEMPERATURA:** No disponible

**NO APLICABLE PARA:** Punto de inflamación, temperatura de auto ignición, inflamabilidad, presión y densidad de vapor.

#### SECCION 10 - ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**ESTABILIDAD:** Estable en condiciones normales

**INCOMPATIBILIDAD:** Agentes oxidantes fuertes (pueden degradar el polímero) ácidos y bases fuertes (pueden hidrolizar el polímero) cloro/hipoclorito (pueden causar reacciones no deseadas)

**PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICION:** No se espera descomposición en condiciones normales de almacenamiento

**PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA COMBUSTIÓN:** Gases tóxicos incluyendo monóxido de carbono y amoníaco

**RIESGO DE POLIMERIZACION:** No ocurrirá

**CONDICIONES POR EVITAR:** Evite exponer a humedad o a condiciones húmedas.

#### SECCION 11 – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

A corto plazo, Toxicidad aguda baja: orales ratas LD50 = > 5000 mg/kg valor estimado

Sensibilización alérgica: No ha sido determinada.

**FLOAID PA-030**  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 3 DE 5  
COPIA NO CONTROLADA



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
 CARRERA 135 No. 16 A 28  
 TEL: 2673065 - 7559988  
 SERVICIENTE@ACQUOSA.COM

**SECCIÓN 12 – INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

El producto no se considera tóxico para los organismos acuáticos

**SECCIÓN 13 - CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN**

**MÉTODO RECOMENDADO PARA DISPOSICIÓN Y ELIMINACIÓN**

Se puede desechar en un vertedero público, si los reglamentos locales lo permiten. Se recomienda seguir el mismo procedimiento que con los desechos.

**SECCIÓN 14 - INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE**

<b>MISELANEO</b> 	<b>NUMERO ONU: N. A</b>
	<b>CLASE IATA: N.A.</b>
	<b>CLASE DE RIESGO (IMO): 9</b>

**SECCIÓN 15 - INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

Identificación
Salud (1)
Inflamabilidad (0)
Reactividad (0)
Especial (0)



NFPA – CÓDIGOS	
4	EXTREMO
3	ALTO
2	MODERADO
1	LIGERO
0	SIN RIESGOS

1. Ley 769/2002. código nacional de tránsito terrestre. artículo 32: la carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta conforme a la normatividad técnica nacional.
2. Los residuos de esta sustancia están considerados en: ministerio de salud. resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales.
3. NTC 4435 transporte de mercancías. hojas de seguridad para materiales
4. Decreto 1609 de 2002 Manejo y transporte de mercancías peligrosas

**FLOAID PA-030**  
 ACQUOSA TECNICA SAS  
 ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019



ACQUOSA TECNICA S.A.S  
CARRERA 135 No. 16 A 28  
TEL: 2673065 - 7559988  
SERVICLIENTE@ACQUOSA.COM

---

#### SECCIÓN 16 – OTRA INFORMACIÓN

**PRECAUCIONES**, la información presentada aquí es exacta y confiable. el uso de esta información y las condiciones de uso del producto es responsabilidad del cliente. no aceptamos responsabilidad legal por cualquier pérdida o daño ocasionado al cliente. sin embargo, nuestro personal técnico estará complacido en responder preguntas relacionadas con los procedimientos de manejo y uso seguro.

Control de versiones:

Estado de la MSDS: Revisada en contenido general

Fecha de aprobación: 01-02-2019

Número de la MSDS: ACQ-HSP-021

---

Elaborado Dpto. Técnico Acquosa Tecnika SAS

**FLOAID PA-030**  
ACQUOSA TECNICA SAS  
ACQ-HSP-021 / V.1 / Vig.01-02-2019

PAG. 5 DE 5  
**COPIA NO CONTROLADA**

## ANEXO D. COTIZACIÓN TANQUES METALNOX S.A.S



FABRICACION DE EQUIPOS EN ACERO INOXIDABLE Y EN ACERO AL CARBON: MARMITAS, TANQUES DE ALMACENAMIENTO, CARROTANQUES SOBRE CHASIS, INTERCAMBIADORES DE CALOR, MEZCLADORES EN "V", MEZCLADORES RIBBONS, SISTEMAS DE AGITACION, ESTRUCTURAS, PLATAFORMAS, ESCALERAS, AISLAMIENTOS TERMICOS. SERVICIO DE: TORNO, SOLDADURAS, ENROLLADO DE TUBO, ANGULO, BOMBEO Y PESTAÑADO DE TAPAS.

Visite nuestra pagina WEB: [www.metalnoxsas.com](http://www.metalnoxsas.com)

CTZ -086 -20

Bogotá, Julio 6 de 2020

Señores

### UNIVERSIDAD AMERICA

Atn. Ing. Daniela Tovar y/o ing. Viviana Ramírez  
Dpto. de Proyectos / Facultad de Química.

Es un gusto cotizarle los siguientes equipos según su solicitud así:

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO
1	TANQUE almacenamiento de agua No. 1; diámetro 1,64 mts x altura 3,06 mts en lamina SS304	1	\$ 30.650.220
2	TANQUE almacenamiento de agua No. 3; diámetro 4,75 mts x altura 7,1 mts en lamina SS304. Fondo plano; tapa superior conica.	1	\$156'780.180
3	TANQUE almacenamiento de agua No. 2; diámetro 4,55 mts x altura 6,83 mts en lamina SS304. Altura cono 2.8 mts, soporte con tubería 6" x 3 mts longitud.	1	\$168'925.500
<b>TOTAL SUMINISTRO SIN I.V.A.</b>			<b>\$ 356'355.900</b>

#### OBSERVACIONES:

- ⇒ Pendiente ratificar valores cotizados, cuando sean suministrados los planos técnicos por parte del cliente. Y visita al sitio de instalación de los tanques (ítem 2 y 3).
- ⇒ Acta de aprobación de diseño para inicio de fabricación.
- ⇒ Acta de revisión del equipo antes de su despacho.
- ⇒ El equipo se entregan en instalaciones del Cliente, perímetro urbano de Bogotá DC.
- ⇒ Se fabrica bajo Norma ASME, API, y ANSI.
- ⇒ Calificación del soldador proceso GTAW, y SMAW bajo norma ASME
- ⇒ Se entrega certificado del material utilizado (Copia documento suministrada por el proveedor de los materiales).
- ⇒ No incluyen otros accesorios y/o actividades no descritas en este documento.

#### Condiciones Generales:

Plazo de entrega : NOVENTA (90) días después del pago anticipo.  
I.V.A. 19% : No incluido en el precio  
Forma de pago : 60% anticipo, 20% con avance; saldo contra entrega.  
Validez de la oferta : 8 días

Cualquier inquietud con gusto será atendida.

Atentamente,

Ing. RICARDO ROMERO  
Gerente

**ANEXO E.  
COTIZACIÓN TANQUES BOTELLA PAVCO-WAVIN COLOMBIA**



Página 1 de 1

**MEXICHEM COLOMBIA S.A.S.**  
**NIT: 860.005.050-1**

<b>COTIZACION</b> <b>4000297226</b>	FECHA DE EMISION		
	DIA	MES	AÑO
	08	07	2020

CLIENTE 2900000 DANIELA TOVAR  AUT SUR 71 75 C.P.:000000 BOGOTÁ D.C. BOGOTÁ
---

Las siguientes son las condiciones comerciales, bajo las cuales ofrecemos nuestros productos:

Nombre Vendedor	N.I.F. DEL CLIENTE	VALIDEZ OFERTA	Fecha Pref. Entrega	CONDICION DE PAGO
VENDEDOR GENERICO		16.07.2020	A CONVENIR	30 Días

PARTI.	CODIGO	DESCRIPCION	U.M.	Cantidad	Precio	Moneda	% Desc.	Importe
10	2903125	TANQUE BOTELLA 600LT AZUL	UN	1,00	217.740	COP	25,00-	217.740,00
20	2904575	TANQUE BOTELLA 1100LT AZUL	UN	1,00	389.078	COP	25,00-	389.078,00

Cantidad con letra: ( QUINIENTOS CUARENTA Y UN MIL QUINIENTOS OCHENTA Y CINCO PESOS CON 07 /100 )	SUB-TOTAL	606.818,00
Lugar Entrega: EN SU OBRA SIEMPRE Y CUANDO SEA ZONA CARRETEABLE	DESCUENTO	151.704,50-
Tiempo de Entrega: SEGUN DISPONIBILIDAD	VLR MERCANCIA	455.113,50
OBSERVACIONES : VALIDEZ 8 DIAS	IVA 19 %	86.471,57
	<b>TOTAL</b>	<b>541.585,07</b>

GENERICO VENDEDOR  
FIRMA VENDEDOR

FIRMA AUT. COMERCIAL

AUTOPISTA SUR 71 - 75 TEL: (571) 7825000 EXT 111 FAX: (571) 7825010 BOGOTA - COLOMBIA

**ANEXO F.  
COSTO FLOID PA-030**

CANT.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
25	KG	FLOAID PA-030	\$15.000	\$375.000
OBSERVACIONES:			SUB.TOTAL	\$375.000
			I.V.A.	\$71.250
			<b>T.O.T.A.L.</b>	<b>\$446.250</b>
VALOR EN LETRAS: CUATROCIENTOS CUARENTA Y SEIS MIL DOSCIENTOS CINCUENTA PESOS				

## ANEXO G. COSTO CLARIFIER CB-176

Ítem	Descripción Ítem	UM	Cant.	Vir. Unitario	IVA %	IVA (Unitario)	ICO	Vir. Total
30005	CLARIFIER CB-176	KG	100.00	1,920.00	19.00	364.80		192,000.00
<b>Observaciones:</b>							<b>Subtotal</b>	192,000.00
SEGÚN ORDEN DE COMPRA No 3681371087							<b>Descuentos</b>	0.00
PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES							<b>IVA</b>	36,480.00
							<b>ICO</b>	0.00
							<b>Total</b>	<b>228,480.00</b>
<b>Vir. Total: DOSCIENTOS VEINTIOCHO MIL CUATROCIENTOS OCHENTA (PESOS COLOMBIANOS)</b>								

## ANEXO H. COTIZACIÓN TANQUE LODOS Y REJILLA INDEPACK



Bogotá, 08 julio de 2020

Oferta Comercial Número: N° 19-022

Señora:  
**VIVIANA RAMIREZ**  
Cc 1010233191  
Calle 181c #13-54

Ref.: **TANQUE - REJILLA**

Cordial saludo,

Presentamos a ustedes nuestra mejor oferta, que incluye:

#### ENTENDIMIENTO DE SU NECESIDAD:

Indepack asegura que tiene la capacidad de cumplir con los requisitos de toda índole para estos productos:

#### OFERTA ECONOMICA

No	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
1	TANQUE DE AGUA 20.000 LITROS CILINDRICO COLEMPAQUES	1	13.850.000,00	13.850.000,00
2	REJILLA ACERO INOXIDABLE DE 50 CMS DE DIAMETRO COM PREFORACIONES DE 5 MM	1	1.320.200,00	1.320.200,00

Subtotal	\$	15.170.200,00
IVA	\$	2.882.338,00
Total mas IVA	\$	18.052.538,00

#### CONDICIONES COMERCIALES

1. Los precios están expresados en : Pesos (COP)
2. Término de pago: 30 DÍAS
3. Tiempo de entrega: 8 Días hábiles.
4. Validez de la oferta: 30 Días

Las condiciones comerciales y valores aplican exclusivamente para las cantidades ofertadas.

Somos una empresa certificada en un sistema de gestión integrado: seguridad y salud en el trabajo, medio ambiente y calidad.

Sin otro particular,

**Jaime Eduardo Caicedo Vargas**  
Gerente General  
Industria de empaquetaduras Indepack SAS NIT : 830117360  
Teléfono : 2242447  
Móvil :3105721204  
gerencia@indepack.com.co



# ANEXO I. COTIZACIÓN REJILLA GRUPO TÉCNICO EMPRESARIAL S.A.S

Página 1 de FORMATO COTIZACION VS05



<b>COTIZACION NUMERO</b>	<b>GTE-COT-080</b>
------------------------------	--------------------

<b>FECHA:</b>	<b>DIA</b>	<b>MES</b>	<b>AÑO</b>
	9	JULIO	2020

<b>CC./ NIT:</b>	1.010.233.191	<b>DV</b>	
<b>RAZON SOCIAL:</b>	<b>Ing. Viviana Ramirez Garcia</b>		
<b>TELEFONO:</b>	350 201 34 65		
<b>EMAIL:</b>	viviana.ramirez2@estudiantes.usamerica.edu.co		
<b>DIRECCION:</b>	Calle 181C #13-54		
<b>CIUDAD:</b>	Bogota - Cundinamarca		

**GRUPO TECNICO EMPRESARIAL SAS**  
NIT 901 344 726 -3



Transversal 74B # 81F-85

BOGOTA - COLOMBIA

<b>TIEMPO DE ENTREGA</b>	8	<b>DIAS HABILES</b>
<b>CONTACTO:</b>	Ing. Ramirez	
<b>TELEFONO:</b>	350 201 3465	
<b>FORMA DE PAGO:</b>	Anticipado	
<b>CENTRO DE TRABAJO:</b>	Bogota	
<b>DIRECCION DE ENTREGA:</b>	Por confirmar	
<b>CIUDAD DE ENTREGA:</b>	Bogota - Cundinamarca	

ITEM	DESCRIPCION	UN	CAN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1RO	Tamiz en acero inoxidable con diametro de 50 cms y altura de 2" con malla mesh de hueco 5mm sin certificado y fabricación nacional	UN	1	\$ 763.000	\$ 763.000

	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$ 763.000</b>
	El valor total debe ser consignado en la cuenta de ahorros del banco caja social No 24 098 446 818	<b>DCTO 0%</b>	<b>\$ -</b>
		<b>IVA 19%</b>	<b>\$ 144.970</b>
		<b>TOTAL A PAGAR</b>	<b>\$ 907.970</b>
<b>VALOR EN LETRAS</b>		Novecientos siete mil novecientos setenta pesos m/cte	