

Establecimiento de la línea base para el programa de ahorro y uso eficiente del agua en la planta  
Extractorora La Gloria S.A.S

Harold Hernando Pérez Avendaño

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico  
Modalidad práctica empresarial

Director

Prof. Giovanni Morales Medina  
Doctor en ingeniería química

Codirector

Ing. Jorge Ramón Mantilla Torres  
Esp. En ingeniería ambiental

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Ingeniería Química  
Bucaramanga  
2023

**Dedicatoria**

*A Jesucristo el único y sabio Dios, dueño  
de la ciencia y del conocimiento por  
dotarme de capacidades.*

*A mi familia por su compañía e incondicional  
apoyo en el desarrollo de cada una  
de las etapas de mi vida.*

*SEÑOR, nosotros no merecemos recibir ningún honor;  
todos los honores deben ser para ti. Sólo tú debes  
recibir la gloria por tu fiel amor y lealtad.*

*Sal 115:1 PDT*

### Agradecimientos

*A Dios por ser mi razón de ser, el autor y sustentador de mi vida, por llenarme de capacidad y entereza para finalizar este maravilloso proyecto.*

*A mis queridos padres y familia por contar con ellos en los momentos más cruciales de mi vida, por sus consejos y oraciones a Dios siempre.*

*A mi amada por su dulce compañía en este proceso y sus palabras de ánimo.*

*A la Universidad Industrial de Santander por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.*

*Al profesor Giovanni por su enorme orientación profesional y motivación para el desarrollo de las etapas de este trabajo.*

*A mis compañeros de estudio con quienes tuve la oportunidad de compartir no solo el conocimiento sino también su apoyo y amistad.*

*A Extractora La Gloria S.A.S por abrirme las puertas para desempeñar esta práctica.*

*Al ingeniero Jorge e ingeniero William por compartirme su vasto conocimiento sobre la industria de la palma y dedicar su personal orientación a mi crecimiento como profesional.*

*Al personal de Extractora La Gloria S.A.S Por facilitarme las herramientas para entender los procesos llevados a cabo en la Planta.*

**Tabla de contenido**

1. Introducción.....	13
1.1 Descripción del problema .....	13
1.2 Presentación de la empresa .....	14
1.2.1 Misión.....	15
1.2.2 Visión .....	15
2. Objetivos .....	16
2.1 General .....	16
2.2 Específicos .....	16
3. Marco teórico .....	17
3.1 Línea base de un proyecto.....	17
3.2 Industria de la palma en Colombia.....	17
3.3 Proceso de extracción de aceite de palma .....	17
3.4 Requerimientos de agua .....	18
3.5 Normativa Colombiana para usos del agua en el sector agroindustrial .....	19
3.6 Métodos de aforo de caudal.....	23
3.6.1 Método volumétrico.....	23
3.6.2 Método de velocidad/superficie.....	24
4. Estado del arte .....	25
5. Metodología.....	26
5.1 Caracterización y cuantificación de corrientes CPFER .....	27
5.2 Viabilidad técnica y económica de la integración de corrientes CPFER .....	28
6. Análisis de resultados .....	30
6.1 Resultados caracterización de corrientes CPFER .....	30
6.2 Resultados cuantificación de corrientes CPFER .....	33
6.3 Potencial de aprovechamiento de agua.....	34
6.4 Balance de agua de la Planta .....	36
6.5 Evaluación de propuestas de reintegración de corrientes .....	38
6.6 Resultados CAPEX y OPEX.....	43

6.6.1 CAPEX.....	44
6.6.2 OPEX.....	49
6.7 Proyecciones de ahorros económicos para ELG.....	50
6.8 Resultados flujo de caja e indicadores económicos.....	52
7. Conclusiones .....	56
8. Recomendaciones .....	57
Referencias bibliográficas.....	58
Apéndices.....	60

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Leyes y normas colombianas que regulan el ahorro y uso eficiente del agua. ....	20
<b>Tabla 2.</b> Valores sugeridos por la ABMA para la calidad del agua utilizada en calderas. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Valores establecidos en ELG para el control del agua requerida en planta. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Paralelo entre los sistemas propuestos. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones del CAPEX para la propuesta N° 1. ....	44
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones del CAPEX para la propuesta N° 2. ....	45
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones de la bomba principal seleccionada del sistema 1. ....	48
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones de la bomba 2 seleccionada para sistema 1 y 2. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Especificaciones de la bomba principal seleccionada del sistema 2. ....	49
<b>Tabla 10.</b> Flujo de caja correspondiente a la alternativa 1. ....	53
<b>Tabla 11.</b> Flujo de caja correspondiente a la alternativa 2. ....	53
<b>Tabla 12.</b> Indicadores económicos. ....	54

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> Diagrama del proceso de extracción de aceite de palma (CPO y CPKO).....	18
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de sección transversal y variación de la velocidad en una corriente. ....	24
<b>Figura 3.</b> Fases de la metodología del proyecto.....	27
<b>Figura 4.</b> Valores de SDT para el agua utilizada en el proceso de extracción.....	32
<b>Figura 5.</b> Caudales de las corrientes CPFER determinados durante la cuantificación. ....	34
<b>Figura 6.</b> Metros cúbicos de corrientes potenciales de CPFER proyectadas a 15 años.....	35
<b>Figura 7.</b> Localización de los efluentes del proceso y balance de agua en ELG .....	37
<b>Figura 8.</b> Principal sistema propuesto para recirculación de CPFER. ....	39
<b>Figura 9.</b> Segundo sistema propuesto para recirculación de CPFER. ....	41
<b>Figura 10.</b> Inversión operativa por mantenimiento y consumo energético vs tiempo.....	50
<b>Figura 11.</b> Crecimiento de ahorros económicos vs año. ....	51
<b>Figura 12.</b> Flujo de caja correspondiente al sistema 1 y 2.....	54

**Lista de apéndices**

<b>Apéndice A.</b> Figuras.....	60
<b>Apéndice B.</b> Instrumentos y protocolo de medición de propiedades.....	68
<b>Apéndice C.</b> Métodos aplicados en la medición de caudal.....	72
<b>Apéndice D.</b> Tablas.....	82
<b>Apéndice E.</b> Descripción del proceso de extracción de aceite de palma.....	91
<b>Apéndice F.</b> Hojas de seguridad de sustancias utilizadas en la caracterización de CPFER.....	96
<b>Apéndice G.</b> Equipos utilizados en el trabajo.....	105

## Glosario

**AGUA CLARIFICADA:** Agua que ha sido tratada con floculante y coagulante para eliminar la presencia de algas y algunos microorganismos.

**AGUA FILTRADA:** Agua a la que se le han retirado los sólidos suspendidos mediante filtros de arena. Requerida para uso doméstico y algunas etapas del proceso de extracción de CPO.

**AGUA PERMEADA:** Agua que sale de la etapa de ósmosis inversa donde se retira la presencia de otras sales y microorganismos que hayan quedado después de la suavización en PTA. Agua dispuesta para generación de vapor en caldera.

**AGUA SUAVIZADA:** Es el tipo de agua que ha pasado por resinas de intercambio iónico para eliminar los sólidos disueltos (sales de calcio y magnesio).

**ALCALINIDAD:** Medida de la capacidad del agua para neutralizar los ácidos.

**AET:** Agua de Enfriamiento de Turbina.

**CBV:** Condensados de Bomba de Vacío.

**CC:** Condensados Clarificación.

**CPKO:** Aceite crudo de palmiste (almendra).

**CPO:** Aceite crudo de palma (mesocarpio).

**CSA:** Condensados de Silos de Almendra.

**CT:** Condensados de Turbina.

**CTKPL:** Condensados TK Pulmón de Lodos.

**CTKS:** Condensados TK Sedimentador.

**DUREZA DEL AGUA:** Concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y de calcio.

**NTU:** Unidad de medida de la turbidez de un fluido. Está expresada en unidad nefelométrica de turbidez (*Nephelometric Turbidity Unit*).

**PC:** Purgas de Caldera.

**PDV:** Purga del Distribuidor de Vapor.

**PFA:** Purgas de Filtros de Arena.

**PSV:** Purgas de Suavizadores.

**PTA:** Planta de tratamiento de agua.

**PTKAC – CSN:** Purga TK de Agua Caliente y Condensados de Silo de Nuez.

**RFF:** Racimo de Fruto Fresco.

**TK:** Tanque.

**UPC:** Índice que sirve para determinar el color de un fluido teniendo como referencia la Unidad de Platino - Cobalto.

## Resumen

**Título:** Establecimiento de la línea base para el programa de ahorro y uso eficiente del agua en la Planta Extractora La Gloria S.A.S\*

**Autor:** Harold Hernando Pérez Avendaño\*\*

**Palabras Claves:** CPFER, Agua de reintegración, Potencial de aprovechamiento, Planta ELG

### Descripción:

El manejo sostenible del agua es uno de los temas más importantes abordados en la actualidad, ya que por distintos factores entre los que destaca la actividad humana se ha provocado una disminución considerable del suministro del recurso hídrico, abarcando el sector industrial el 90% de los usos del suministro. La planta de beneficio de extracción de aceite de palma ELG posee corrientes de evacuación que pueden ser aprovechadas, puesto que cumplen con las características para ser reintegradas a proceso, por lo cual en este proyecto se estableció una línea base para el programa de ahorro y uso eficiente del agua de la planta mediante el desarrollo de un balance de masa, el diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas de las corrientes, la cuantificación de sus respectivos caudales a través del método volumétrico y de velocidad/superficie, y la evaluación de alternativas para la reutilización de los flujos. Se encontró que gran parte de las corrientes estudiadas se ajustan a los parámetros de reingreso, así como es de resaltar su aporte significativo a la disminución del impacto económico – ambiental por parte de la Planta. También se determinó que al menos uno de los diseños propuestos califica como alternativa de aprovechamiento según lo demuestran los índices de evaluación.

---

\*Trabajo de grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Giovanni Morales Medina, Ingeniería Química, PhD. Codirector: Ing. Jorge Ramón Mantilla, Esp.

## Abstract

**Title:** Establishment of the baseline for the program of saving and efficient use of water in the La Gloria S.A.S Extractor Plant\*

**Author:** Harold Hernando Pérez Avendaño\*\*

**Keywords:** CPFER, Reintegration water, Potential for use, ELG plant

### Description:

Sustainable water management is one of the most important issues addressed today, since different factors among which human activity stands out has caused a considerable decrease in the supply of water resources, covering the industrial sector 90% of the uses of the supply. The ELG palm oil extraction beneficiation plant has evacuation currents that can be used, since they meet the characteristics to be reintegrated into the process, so in this project a baseline was established for the program of saving and efficient use of the plant's water through the development of a mass balance, the diagnosis of the physicochemical properties of the currents, the quantification of their respective flows through the volumetric and velocity/surface method, and the evaluation of alternatives for the reuse of the flows. It was found that a large part of the currents studied conform to the reintegration parameters, as well as its significant contribution to the reduction of the economic and environmental impact by the Plant. It was also determined that at least one of the proposed designs qualifies as an alternative use as demonstrated by the evaluation indexes.

---

\*Degree work.

\*\*Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Giovanni Morales Medina, Chemical Engineering, PhD. Co-director: Eng. Jorge Ramón Mantilla Torres, Sp.

## 1. Introducción

### 1.1 Descripción del problema

El agua es uno de los componentes más importantes para el desarrollo de la vida en cualquiera de sus formas; sin embargo, su manejo insostenible, su distribución desigual en el tiempo y espacio, y las actividades humanas han provocado una disminución en el suministro de este valioso recurso (Unesco, 2014-2015). Según un reporte realizado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se prevé que para el año 2025 cerca de 1.800 millones de personas carecerán de este líquido, mientras que las dos terceras partes de la población mundial podrían enfrentarse a condiciones de estrés hídrico (Unidas, ONU-DAES, 2014). Entre los principales factores para la carencia de agua figura el sector agrícola e industrial, quienes en conjunto acumulan la exorbitante cifra del 90% de uso del suministro, dejando sólo el 10% para el abastecimiento humano. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) manifiesta que, de no tomarse las medidas necesarias, el planeta tendría la obligación de afrontar un déficit de agua del 40% durante los próximos años (Herrero, 2015). Como cualquier otra especie de cultivo de carácter intensivo y extensivo, la palma de aceite tiene una fuerte incidencia sobre el tema en mención, generando gran impacto en la contaminación del agua por uso de pesticidas y fertilizantes, en la deforestación, el cambio de uso de los suelos y su erosión.

De igual manera, las plantas extractoras de aceite de palma para el procesamiento de los frutos captan de las fuentes cercanas de agua, como ríos o arroyos, que puedan surtir con suficiencia la alta demanda del recurso hídrico. Alrededor de 1 – 1,5 m<sup>3</sup> de agua se requieren para procesar una tonelada de racimo de fruto fresco (RFF); 50% de esta agua corresponden a efluentes directos del proceso; el resto lo componen los vapores de calentamiento y sus respectivos

condensados que regularmente son enviados al sistema de drenaje sin ser aprovechados (ver figura A1 y A2 Apéndice A) (Ngan, 2000) (Guatemala, 2017) (Ngan, 2000). De estas plantas extractoras se vierten grandes cantidades de efluentes (no potables, pero que cumplen con parámetros de reúso para la planta), en los diferentes cuerpos de agua. Una alternativa a la demanda de agua corresponde a la reutilización o reintegración de este efluente en el proceso, con el objetivo de mitigar el suministro de agua para la planta, permitiendo que las fuentes cercanas de agua sean utilizadas en el abastecimiento de los poblados del sector; asimismo, la reintegración conlleva al ahorro del coste de tratamiento de nuevo afluente (insumos PTA).

La reintegración de agua en un proceso requiere de la cuantificación y la caracterización de los efluentes generados, lo cual conduce a una línea base para el ahorro y el uso eficiente del recurso hídrico, disminuyendo el respectivo impacto ambiental. Con lo anterior, el presente documento presenta los principales resultados de una cuantificación y caracterización de los efluentes en la planta Extractora La Gloria S.A.S (ELG), evaluando alternativas de reúso desde los ámbitos técnico y económico. Los efluentes considerados incluyen condensados de vapor, purgas, fugas, aguas de enfriamiento y de rechazo (CPFER) que puedan ser reintegradas a los ciclos del proceso.

## **1.2 Presentación de la empresa**

Extractora La Gloria S.A.S (ELG) es una planta de beneficio de extracción de aceite de palma africana, perteneciente al grupo agroindustrial Hacienda La Gloria (HLG), y que se encuentra ubicada en el kilómetro 5 vía La Mata – La Gloria en el sur del departamento del Cesar. La ELG inició en el año 2008 con el objetivo de producir aceite de palma con un modelo de economía sostenible. Actualmente la planta procesa entre 35 - 38 Ton RFF/h, con un porcentaje de extracción promedio de CPO de 21,5%, y cerca del 3% de CPKO, siendo una de las principales

plantas extractoras de la zona centro del país. El complejo industrial incluye 4 plantas de procesamiento: Planta de extracción de aceite crudo de palma (CPO), planta de extracción de aceite de palmiste (CPKO), planta de cogeneración de energía, y planta de compostaje. El organigrama de la empresa ELG se presenta en la figura A3 Apéndice A.

### ***1.2.1 Misión***

ELG promueve la transformación de las regiones en motores agroindustriales, fundamentados en la tecnología, la responsabilidad social y ambiental y la seguridad de las operaciones, generando valor para los colaboradores, accionistas y grupos de interés.

### ***1.2.2 Visión***

En el año 2030, ser reconocidos como el principal actor de desarrollo de la región y ser parte del top cinco de las compañías del sector palmicultor, biocombustibles y derivados de Latinoamérica, gracias a los actuares responsables y comprometidos con la sostenibilidad, la comunidad y grupos de interés, dentro de un marco de trabajo alineado con los principios del Pacto Global de las Naciones Unidas, de trabajo responsable, seguridad ambiental, comunitaria y regional, promoviendo el crecimiento de los colaboradores, proveedores y todo aquel que tenga incidencia con la operación a través de la innovación y el desarrollo.

## 2. Objetivos

### 2.1 General

Establecer una línea base para el programa de ahorro y uso eficiente del agua de la planta Extractora La Gloria S.A. (ELG), mediante el desarrollo de un balance de masa del agua utilizada en planta, definiendo y evaluando alternativas de reúso.

### 2.2 Específicos

- Cuantificar los caudales de condensados, purgas, fugas, aguas de enfriamiento y de rechazo (CPFER) mediante el método volumétrico y de velocidad/superficie, para la estimación del potencial de aprovechamiento de agua en la planta.
- Evaluar alternativas de integración y reutilización de flujos CPFER, por medio de consideraciones técnicas y económicas, definiendo la alternativa con mayor viabilidad de aplicación.

### 3. Marco teórico

#### 3.1 Línea base de un proyecto

Una línea base es un punto en la planificación en el que se determinan unos objetivos que se estiman realistas. Posteriormente, se trabaja en base a lo planificado y capeando imprevistos y posibles desviaciones en la planificación. En el caso del establecimiento de la línea base para el programa de ahorro y uso eficiente del agua en la Planta ELG se refiere al estudio de las corrientes CPFER en cuanto a caracterización, cuantificación, y evaluación de alternativas de reintegración que pueden ser ejecutadas cuando sea solicitado (Sinnaps, s.f.).

#### 3.2 Industria de la palma en Colombia

La industria del aceite de palma africana en Colombia se establece a principios de los años 60s siendo impulsada originalmente por la *United Fruit Company* en la zona bananera del departamento del Magdalena. En la actualidad, Colombia se ubica en el 4° lugar de países productores de aceite de palma a nivel mundial y el primero en América Latina, contando con alrededor de 500 mil hectáreas sembradas de esta oleaginosa distribuidas en más de 20 departamentos y cerca de 160 municipios de todo el país, generando una producción anual de 1,6 millones de toneladas de aceite de palma (Pitto & Carvajal, 2017) (Gallo, Hawkins, García, & Tovar, 2020).

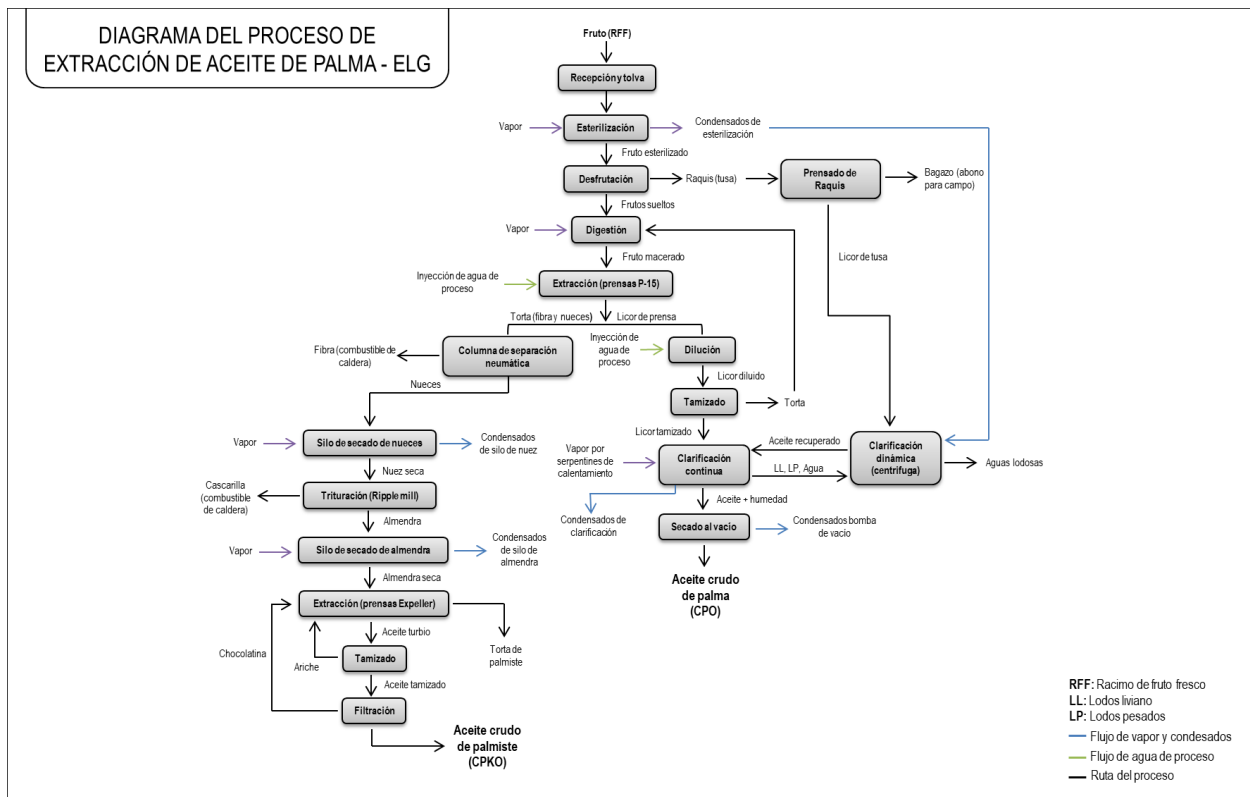
#### 3.3 Proceso de extracción de aceite de palma

El proceso de obtención del aceite de palma comprende dos importantes líneas de extracción: el aceite crudo de palma (CPO) que se encuentra en la zona del mesocarpio, y el aceite crudo de palmiste (CPKO) contenido en la almendra. En la primera sección, para la separación del CPO se llevan a cabo las etapas de esterilización, desfrutación, digestión, extracción (prensas P-

15), clarificación continua y dinámica, y finalmente la etapa de secado al vacío. Para el caso del CPKO la línea de extracción sigue la ruta de trituración, secado, prensado (prensas tipo Expeller), tamizado y filtración (Wambeck, Sinopsis del proceso de la palma de aceite, 2005). En el Apéndice E se describe detalladamente el proceso de extracción. A continuación, en la figura 1 se ilustra el diagrama del proceso.

**Figura 1**

*Diagrama del proceso de extracción de aceite de palma (CPO y CPKO).*



### 3.4 Requerimientos de agua

Dentro del proceso de extracción del CPO y CPKO el agua influye directa e indirectamente en el rendimiento de varias de las etapas. Por una parte, el agua es suministrada de manera directa en forma de vapor, proveniente de caldera, para las secciones de esterilización y digestión;

indirectamente, el agua es empleada como servicio industrial a los serpentines de calentamiento usados en clarificación continua y etapas complementarias como el tanque sedimentador, tanque pulmón de almacenamiento y tanque de agua caliente. También se usa vapor de calentamiento para los radiadores de los silos de secado de nuez y almendra. Como agua de proceso, el fluido tiene participación directa en la zona de extracción y en caja de dilución (Morroy, 2007) (Kospa, Lulofs, & Asdak, 2017).

### **3.5 Normativa Colombiana para usos del agua en el sector agroindustrial**

En esta sección se presentan las principales leyes y normas que regulan el ahorro y uso eficiente del agua en Colombia para los diferentes sectores (incluyendo el agroindustrial), así como también los parámetros establecidos para los usos del agua en plantas de extracción de aceite de palma, entendiendo que de igual manera existen estándares internacionales a los que se acoge la normativa nacional. Las tablas 1,2 y 3 que se muestran a continuación brindan la información correspondiente. Las principales normas, leyes, decretos y parámetros que se presentan en la tabla 1 y hacen alusión al marco legal que regula y controla a los diferentes sectores de la industria nacional sobre los usos racionales del agua. La agroindustria, como uno de los principales actores en el requerimiento de agua para el desarrollo de sus actividades siente gran responsabilidad por cumplir con los rudimentos establecidos, teniendo a disposición personal en el área operativa, ambiental e investigativa (practicantes) dedicados a realizar seguimiento y gestión de mejoras al manejo del recurso hídrico.

Tabla 1

*Leyes y normas colombianas que regulan el ahorro y uso eficiente del agua.*

NORMA	CONTENIDO	APLICACIÓN
<b>Decreto 2811 de 1974</b>	Por el cual se promulga el código nacional de recursos naturales y de protección al medio ambiente.	Regular el uso del recurso hídrico, manejo de vertimientos, fomentar la conservación y mejoramiento del medio ambiente, etc.
<b>Decreto 1541 de 1978</b>	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.	Se reglamentan los usos del agua y se establecen sus parámetros de concesión.
<b>Decreto 1594 de 1984</b>	por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	Regular los usos del agua y estipular las normas para vertimientos.
<b>Ley 373 de 1997</b>	Por la cual se establece el programa para el uso y ahorro eficiente del agua.	Se establecen los criterios bases que permiten el desarrollo de programas para el ahorro y uso eficiente del agua.
<b>Ley 99 de 1993</b>	Por la cual se instituye el Ministerio del Medio Ambiente para la gestión del medio ambiente y de los recursos renovables. Se establece el Sistema Nacional Ambiental.	Es menester del estado velar por el manejo sostenible de los recursos renovables; promover su conservación, protección y aprovechamiento a través de la creación del Ministerio del Medio Ambiente.
<b>ISO 14046 de 2014</b>	Esta norma permite evaluar la huella hídrica a manera de estudio individual que mide los impactos relacionados con el agua. También puede ser	Especifica los principios, los requisitos y las directrices relacionados con la evaluación de la huella de agua de productos, procesos y

	utilizada como parte del análisis del ciclo de vida donde se dan consideraciones del conjunto de impactos ambientales.	organizaciones basadas en el análisis del ciclo de vida.
<b>Decreto 1090 del 2018</b>	Por el cual se adiciona el Decreto número 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones.	Incentivar la implementación de proyectos o lineamientos dirigidos al uso eficiente y ahorro de agua. Promover las prácticas de reúso, recirculación, minimización del consumo de agua para procesos.
<b>Resolución 1207 de 2014</b>	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.	Se establecen las condiciones de reúso de las aguas residuales tratadas, para reintegrarlas a los sectores agrícolas e industrial.
<b>Resolución 1257 de 2018 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	Por la cual se desarrollan los párrafos 1° y 2° del artículo 2.2.3.2.1.1.3 del Decreto 1090 de 2018, mediante el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015.	Se presenta la estructura y contenido de los programas para uso y ahorro eficiente de agua simplificado.

*Nota.* Adaptado de *Reestructuración del sistema de gestión ambiental de INDUPALMA LTDA* (p. 31 -32), M.L. Castro, 2018.

La *American Boiler Manufacturers Association* (ABMA) ha determinado los valores y rangos de valores expresados en la tabla 2 sobre el control de calidad del agua implementada en calderas para asegurar no sólo el rendimiento en la generación de vapor sino también conservar la estructura interna del sistema, prolongando su periodo de vida útil. Es de suma importancia considerar lo anteriormente dicho para evaluar el estado y calidad de CPFER que puedan cumplir con los parámetros de reintegración a caldera en ELG.

**Tabla 2**

Valores sugeridos por la ABMA para la calidad del agua utilizada en calderas.

PARÁMETROS	VALORES PREDETERMINADOS
pH a 25°C	10,5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO <sub>3</sub>	< 700 ppm
Alcalinidad CausticaSe	> 350 ppm
Sulfito de Sodio	30 - 70 ppm
Hidrazina	0,1 - 10 ppm
Taninos	120 - 180 ppm
Dietilhidroxilamina	0,1 - 1,0 ppm(en agua de alimentación)
Fosfato Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3,0
Silice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 µS/cm

Nota. Adaptado de *Diseño de una caldera de generación de vapor piro tubular de 10 bhp expandible a 25 bhp mediante módulos* (p. 31), por D.E. Osejo, 2017.

En la tabla 3 se evidencian los diferentes parámetros que son considerados en ELG a la hora de evaluar la calidad del agua. El tipo de agua filtrada cumple con los estándares para ser implementada como agua de proceso, en sistema contra incendios, usos domésticos, lavado y aseo en planta e irrigación para zonas verdes. El agua permeada por su parte es comúnmente utilizada en caldera para la generación de vapor. El agua clarificada y suavizada son de transición en PTA.

**Tabla 3**

Valores establecidos en ELG para el control del agua requerida en planta.

CARACTERIZACIÓN	RANGOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA – ELG						
	AGUA C	AGUA CL	AGUA F	AGUA S	AGUA P	AGUA A	PURGA CP
DUREZA (ppm)	NA	NA	NA	0 - 1	0 - 1	0 - 1	NA
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	NA	≤ 280	≤ 280	≤ 250	≤ 30	≤ 250	900 – 4600

SÓLIDOS DISUELTOS T (ppm)	NA	≤ 150	≤ 150	≤ 125	≤ 5	≤ 125	450 – 2500
pH	NA	6,5 - 9	6,5 - 9	6,5 - 9	6,5 - 9	8,3 - 9,5	10,5 - 11,5
SILICE (ppm)	NA	NA	NA	NA	≤ 3	≤ 3	≤ 90
TURBIDEZ (NTU)	NA	≤ 5	≤ 1	NA	NA	NA	NA
COLOR (UPC)	NA	NA	≤ 5	NA	NA	NA	NA
O2 DISUELTO (ppm)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SULFITOS (ppm)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30 – 60
ALCALINIDAD - M (ppm)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	500 – 700
ALCALINIDAD - P (ppm)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	300 – 500
ALCALINIDAD - OH (ppm)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	200 - 400

*Nota.* C: cruda; CL: clarificada; F: filtrada; S: suavizada; P: permeada; A: alimentación; CP: continua piro tubos; NA: no aplica. Adaptado de *Informe Digital, calidad del agua, Extractora La Gloria, 2022.*

### 3.6 Métodos de aforo de caudal

#### 3.6.1 Método volumétrico

Es uno de los métodos más utilizados en la cuantificación de caudales de bajas proporciones, como suele ocurrir en canales, acequias, sistemas de drenajes, entre otros. Se caracteriza por la medición directa del caudal tomando un volumen determinado en un recipiente de tamaño conocido, y dividiendo sobre el tiempo de llenado. La Ec. 1 muestra las variables implicadas en la determinación del caudal por este método (Ramos, 2018).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde, Q: Caudal (m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/s, l/s); V: Volumen del recipiente o hasta el aforo (m<sup>3</sup>, l); T: Tiempo (h, s)

### 3.6.2 Método de velocidad/superficie

Este método es empleado para calcular el caudal de corrientes que atraviesan una sección transversal conocida (área) a una velocidad  $V$ . El valor del caudal se determina a partir de la Ec. 2 que se muestra a continuación (Rugama & Save, 2013).

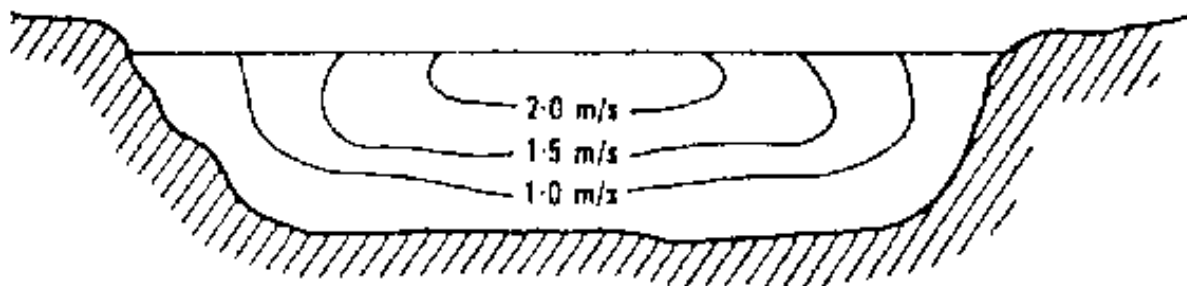
$$Q = A * Vm \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde,  $Q$ : Caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ );  $A$ : Área ( $\text{m}^2$ );  $Vm$ : Velocidad media de la corriente ( $\text{m}/\text{h}$ ,  $\text{m}/\text{s}$ )

Una de las formas de hallar la velocidad es por medio de la medición del tiempo que tarda un objeto flotante (ej. pelotas de *ping pong*) en recorrer una distancia conocida. Es necesario que el objeto sea parcialmente sumergible para evitar interferencia en su curso normal debido al viento en la superficie. Otra forma de encontrar la velocidad consiste en verter colorante artificial a la corriente en un corte neto que permita el desplazamiento de la nube aguas abajo en una distancia conocida. Se toma el tiempo promedio que emplea la nube de colorante en traspasar el límite de la distancia establecida (Rocha, 2016).

#### Figura 2

*Ejemplo de sección transversal y variación de la velocidad en una corriente.*



*Nota.* Tomado de *variación de la velocidad en una corriente*, por FAO, 1976 (<https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s06.htm>).

#### 4. Estado del arte

Uno de los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) planteados por las naciones unidas dictamina que “un tratamiento adecuado de las aguas residuales contribuye a reducir la presión sobre los recursos de agua potable, ayudando a proteger la salud humana y del medio ambiente” (Unidas, ONU-DAES, 2014). Noel Wambeck, uno de los referentes a nivel mundial del sector agroindustrial de la palma de aceite, entendiendo esta problemática sugiere que las aguas de uso de una planta extractora pueden ser reutilizables siempre y cuando sean tratadas según la procedencia dentro del proceso.

Por lo anterior, las empresas deben implementar el tratamiento físico y/o químico de las aguas residuales industriales (aguas de proceso directo) antes de ser reintegradas al medio ambiente para que sean aprovechadas por los ecosistemas. Por su parte, las aguas de desecho como lo son el caso de los condensados, aguas de enfriamiento de turbina y purgas de calderas, al ser relativamente limpias podrían ser redirigidas a los sistemas de dilución, prensado, lavado de canales de aceite y para requerimientos de aseo en la planta (Wambeck, Sinopsis del proceso de la palma de aceite, 2005) (Sabriyah, Lulofs, Asdak, & Rahim, 2017).

En Colombia, la ley 373 del año 1997 se instauró como uno de los principales rectores del uso eficiente y ahorro del agua. Esta ley enuncia que todo plan de carácter regional y municipal debe incluir un programa que sea destinado exclusivamente al uso eficiente del recurso hídrico. En uno de sus artículos, más exactamente el número 5 (reúso obligatorio del agua), establece que: “Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser utilizadas 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” (Anaya & Rojas, Programa de ahorro y uso eficiente del agua para la extracción de aceite crudo en el sector palmicultor, 2011).

Un estudio realizado en la planta de Guaicaramo ubicada en el departamento del Meta establece que efluentes como los condensados de vapor pueden ser reintegrados en caldera mediante un sistema de recirculación, siempre y cuando cumplan con las condiciones de parámetros fisicoquímicos que se requieren para su uso en esta sección de la planta, de lo contrario solamente podrán ser reutilizados en zona de dilución, prensas o hidrociclones (Duarte, Herrera, Pabón, & Ramírez, 2007).

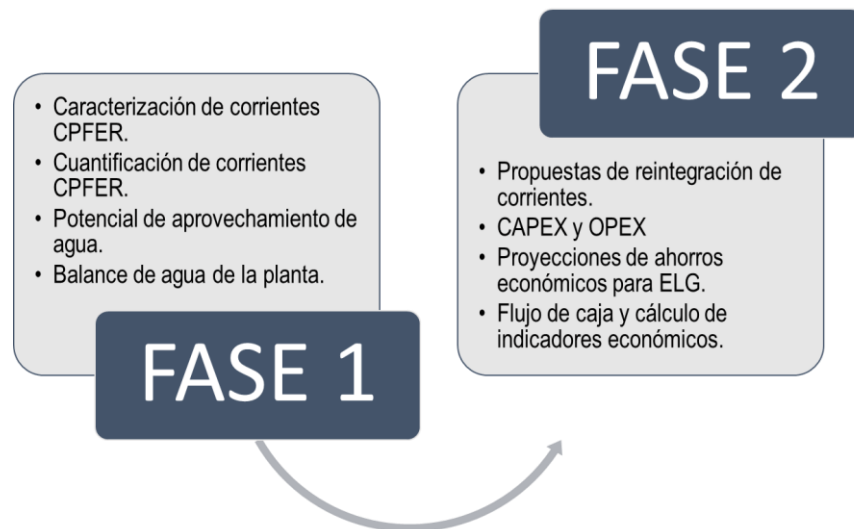
Aunque hasta la fecha gran parte de las plantas de beneficio en el país no han ejecutado un plan de acción concreto respecto a esta problemática, Fedepalma revela que sí hay un fuerte interés del sector palmicultor en hacer aportes económicos dirigidos a desarrollar iniciativas privadas para la protección de las cuencas hidrográficas vinculadas a su actividad (Anaya & Rojas, Programa de ahorro y uso eficiente del agua para la extracción de aceite crudo en el sector palmicultor, 2011).

## **5. Metodología**

A continuación, en la figura 3, se muestran las fases metodológicas llevadas a cabo durante la práctica realizada entre octubre del 2021 y abril del 2022 para el desarrollo del proyecto.

**Figura 3**

*Fases de la metodología del proyecto.*



### 5.1 Caracterización y cuantificación de corrientes CPFER

**Actividad 1.** Caracterización de corrientes CPFER. Para la caracterización de las corrientes de CPFER se fijaron variables como el pH, Temperatura (°C), Sólidos Disueltos Totales SDT (ppm), Turbidez (NTU), Dureza (ppm), Alcalinidad (ppm), Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Color (unidades de Platino Cobalto, UPC), y Sílice (ppm), parámetros comúnmente determinados en PTA para uso de agua en planta. Se realizó un sondeo para identificar los puntos y posteriormente se analizaron las muestras colectadas con los instrumentos de laboratorio. Los procedimientos y equipos utilizados para la caracterización de las propiedades se describen en el apéndice B.

**Actividad 2.** Las corrientes de CPFER fueron cuantificadas a través del método volumétrico y de velocidad/superficie, dadas las características de los puntos identificados, llevando un registro diario de 4 tomas muestrales recolectadas cada 2 horas durante un periodo de 30 días (ver tabla D2 en Apéndice D). Cabe resaltar que para la cuantificación se implementaron tres sistemas distintos de medición de caudal, correspondiendo el primero al método de

velocidad/superficie, y los dos siguientes al método volumétrico. Estos métodos son detallados en el apéndice C.

**Actividad 3.** El Potencial de aprovechamiento de corrientes CPFER fue definido con base en las características de cada una de las corrientes. Las propiedades consideradas para la definición fueron SDT, Dureza, Conductividad y Sílice; variables fundamentales en la determinación de la principal línea de reintegración de CPFER a proceso, cuyos parámetros se ajustan a las características del agua de alimentación para Caldera, algo que implicaría reducción en los costes mayores de tratamiento de agua. De manera complementaria se consideraron las corrientes que cumplían con los parámetros del tipo de agua filtrada, ya que esto significa otra disminución de uso de reactivos e insumos en PTA.

**Actividad 4.** Aplicación del balance de masa de agua de la planta Extractora. Este balance fue aplicado para conocer detalladamente las rutas del agua dentro del complejo, así como también las proporciones de las corrientes internas que permitiera brindar información sobre los usos más importantes de este recurso, y principalmente considerando su participación en el proceso de extracción de aceite de palma. Se utilizaron los datos suministrados por laboratorio e historial de agua de la Planta para complementar el balance.

## 5.2 Viabilidad técnica y económica de la integración de corrientes CPFER

**Actividad 5.** Propuestas de reintegración de corrientes. Se plantearon dos sistemas de reintegración siendo reconocido el primero por el uso directo de condensados para Caldera, y el segundo diseño como sistema alternativo al aprovechamiento de los condensados. Se contemplaron las redes de tubería o equipos de la Planta que pudieran aportar al proceso de reintegración con el objetivo de disminuir los montos de inversión en infraestructura, y para cada alternativa se

dimensionaron las bombas requeridas mediante la ecuación de balance de energía mecánica (Ec. 3) (Cengel & Cimbala, 2018).

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde, P1 y P2: Presiones en los puntos inicial y final del sistema (pa); Z1 y Z2: Coordenadas verticales de los puntos inicial y final de sistema (m); V1 y V2: Velocidades del fluido en los puntos inicial y final del sistema (m/s);  $h_A$ : Energía por unidad de peso fluido proporcionada por la bomba (J/N);  $h_L$ : Pérdidas de energía por unidad de peso fluido entre puntos iniciales y finales del sistema (J/N);  $\gamma$ : Peso específico del fluido bombeado ( $\rho \cdot g$ ).

**Actividad 6.** CAPEX y OPEX. Se realizó el análisis de inversión de capital (CAPEX) requerido para el funcionamiento de los sistemas propuestos al igual que la inversión operativa necesaria para el mantenimiento y consumo energético de equipos (OPEX). En el CAPEX se consideraron los montos por obras civiles y mano de obra, así como las especificaciones y costos de equipos. En el OPEX el mantenimiento se referenció como el 1% de la inversión de capital y el consumo energético se fijó en base a las características de la bomba. Los costos se proyectaron con el promedio (últimos 5 años) del índice de inflación esperada: 4,59% (Banrep, 2023).

**Actividad 7.** Proyecciones de ahorros económicos para ELG. Se proyectaron los ahorros económicos para la Planta a término de 15 años por  $m^3$  de agua no tratada a causa del aprovechamiento de corrientes CPFER. Esta estimación se realizó para las dos propuestas de reintegración aludiendo a los valores de tratamiento de agua estipulados en ELG.

**Actividad 8.** Flujo de caja y cálculo de indicadores económicos. Se generaron los flujos de caja mediante la herramienta Excel considerando en primer lugar el cálculo de variables como

el EBITDA (ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización) y el EBIT (ganancias antes de intereses e impuestos). También se calcularon los indicadores económicos VPN (valor presente neto), TIR (tasa interna de retorno) y PR (periodo de recuperación) para los diseños propuestos estableciendo una tasa de oportunidad del 14,5% (Banbogotá, 2023).

## 6. Análisis de resultados

Las corrientes CPFER en la planta ELG fueron identificadas, caracterizadas y cuantificadas para su posible reutilización en el proceso; estos tópicos se definieron en términos de la ley 373 de 1997, el Decreto 1090 de 2018, y las Resoluciones 1207 de 2014 y 1257 de 2018, mediante las cuales se promueven las prácticas e iniciativas de creación de programas para el ahorro y uso eficiente del agua.

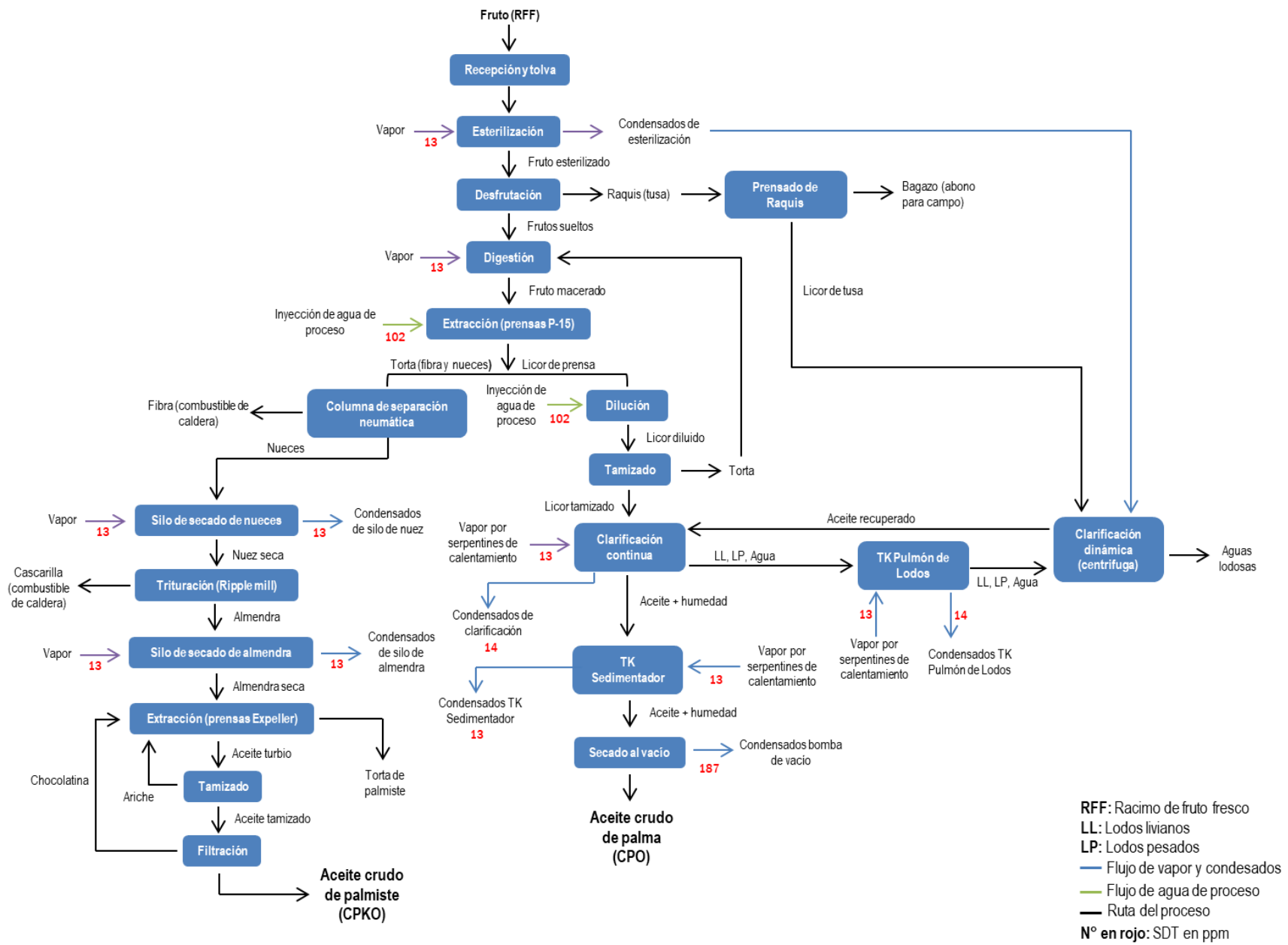
### 6.1 Resultados caracterización de corrientes CPFER

La caracterización se estableció en base a los parámetros y normas utilizadas en ELG para el seguimiento y control de calidad del agua (tabla 3), con la intención de sintonizar variables y comparar asertivamente los resultados de las mediciones realizadas. En total fueron 12 puntos identificados de corrientes potenciales para su aprovechamiento en la planta; CSA, CBV, CC, CTKS, CTKPL, CT, PC, PDV, PFA, PSV, PTKAC – CSN, AET. La figura 4 muestra la variación de uno de los parámetros más importantes dentro de la caracterización de CPFER; se trata de los sólidos disueltos totales (SDT) y de las modificaciones que sufre durante el recorrido del agua por las diferentes secciones del proceso de extracción. Los SDT evalúan la concentración de minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua que pueden ocasionar corrosión e incrustaciones en el sistema de tuberías, especialmente en el sistema de generación de vapor, y por ello es uno de los parámetros que es monitoreado en casi toda la línea de tratamiento de agua y

alimentación a Caldera. Otras variables importantes tales como la Dureza, Conductividad y Sílice se pueden constatar en el apéndice A, mientras que la tabla D3 apéndice D muestra la totalidad de los parámetros que fueron determinados en la caracterización.

**Figura 4**

Valores de SDT para el agua utilizada en el proceso de extracción.



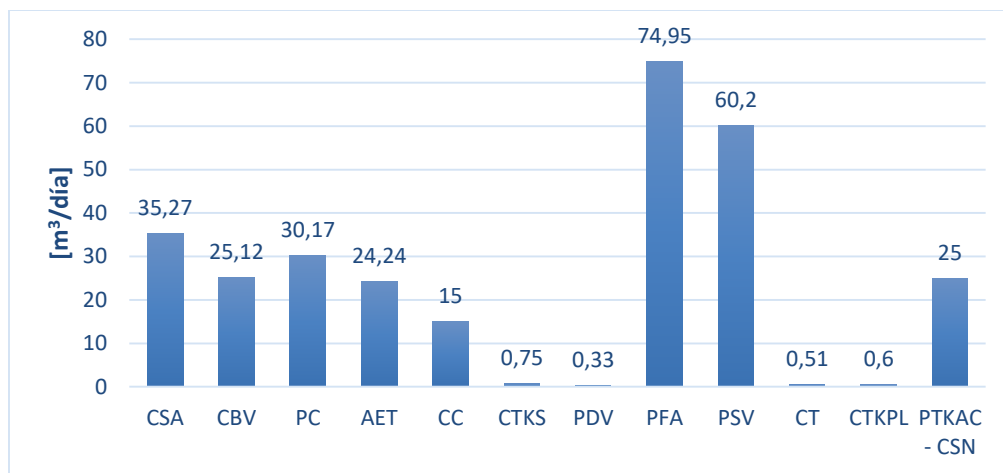
Según la información que presenta la figura 4 se puede evidenciar el alto contenido de SDT en la corriente de salida de los CBV, expresando un valor de 187 ppm, valor que se encuentra por fuera del rango del agua del tipo filtrada y de alimentación a Caldera ( $\leq 150$  ppm y  $\leq 125$  ppm respectivamente). También se puede observar que tanto los CC, CTKS, CTKPL, CSA y CSN, presentan muy buenas características del parámetro mencionado manteniéndose en el rango de valores entre 13 y 14 ppm; En términos generales los condensados cumplen con las condiciones respecto a los SDT para ser reintegrados a proceso, con la excepción de los CBV. Por su parte, las PDV, PTKAC, CT, y AET son otras de las corrientes de salida con propiedades de SDT que califican para ser retornadas, aunque no aparecen en la figura al no tener incidencia directa en el proceso de extracción. Finalmente, las PC, PFA y PSV, como flujos de salida muestran altas concentraciones cercanas al rango de los 190 y 500 ppm, condiciones que impiden su reúso dentro de la planta (ver tabla D3 apéndice D).

## 6.2 Resultados cuantificación de corrientes CPFER

La figura 5 representa los caudales de corrientes CPFER que fueron cuantificadas mediante el método volumétrico y de velocidad/superficie. Dichos métodos se implementaron debido a las características de los puntos encontrados respecto a forma y caudal, y las unidades de medida se trazaron en  $\text{m}^3/\text{día}$  para cada una de las corrientes. Las corrientes que se cuantificaron a través del método volumétrico son, en su orden, CSA, CBV, CTKS, CTKPL, CT, PDV y AET, mientras que por el método de velocidad/superficie fueron halladas las cantidades para los CC, PTKAC – CSN, PC, PFA y PSV.

**Figura 5**

*Caudales de las corrientes CPFER determinados durante la cuantificación.*



Los caudales de las corrientes estudiadas que arrojaron mayor cuantía están constituidos principalmente por las purgas de Filtros de Arena y Suavizadores, quienes en conjuntos abarcan alrededor del 46% del agua cuantificada. Los condensados por su lado componen el segundo grupo más importante participando con cerca del 30%, siendo los caudales de CSA, CBV, CC, CSN las corrientes de mayor valor, y las de menor estimación respectivamente CTKS, CT, CKTPL. El AET conforma el 8%, y, por último, las PC, PDV, PTKAC suman el 16% restante de la cuantificación total. Sin embargo, el aporte general de las purgas asciende al 62% teniendo en cuenta el agregado de los Filtros de Arena y Suavizadores. También cabe resaltar que las PTKAC y CSN fueron medidos como una sola corriente por causa de la infraestructura en tubería, pero sus valores individuales se hallaron en el balance de masa de agua indicando semejanza en la composición por porcentaje (aproximadamente 4% c/u).

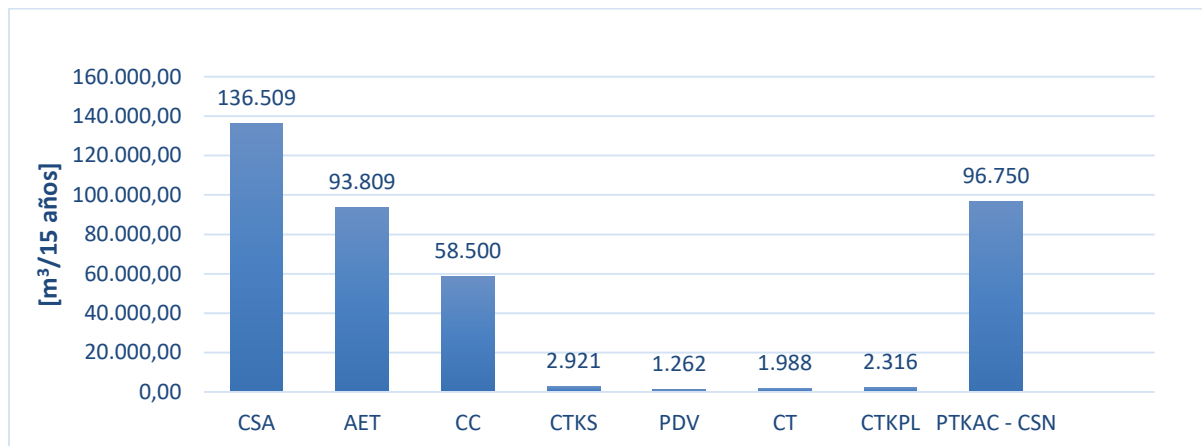
### 6.3 Potencial de aprovechamiento de agua

El potencial de aprovechamiento de corrientes CPFER permite establecer los puntos que por sus óptimas condiciones de propiedades fisicoquímicas como SDT, Dureza, Conductividad y Sílice pueden reintegrarse a las líneas del proceso de extracción o en su defecto para otras secciones

de la planta, condiciones que fueron analizadas en la sección 6.1. A continuación, la figura 6 detalla las corrientes que finalmente calificaron para su aprovechamiento, así como también sus proporciones proyectadas a un lapso de tiempo de 15 años, considerando el periodo de vida útil promedio de un sistema de recirculación en ELG (bombas, tanques, tuberías, etc.). La información para el potencial de aprovechamiento es ampliada en la tabla D5 Apéndice D.

**Figura 6**

*Metros cúbicos de corrientes potenciales de CPFER proyectadas a 15 años.*



La figura 6 muestra una tendencia similar a la de la cuantificación puesto que es proporcional, pero con la exclusión de CBV, PC, PFA, PSV, ya que sus condiciones no eran compatibles con los estándares de agua de alimentación a Caldera o Filtrada. Del 30% de participación que corresponde a los condensados dentro de los CPFER, aproximadamente el 73% ( $\approx 22\%$  del total) de estos pueden ser retornados al proceso, recordando que los CBV no son aptos para el reingreso. Dichos condensados acumularían la cuantiosa suma de  $248.673 \text{ m}^3$  al cabo de 15 años, mientras que las purgas generarían un total de  $51.572 \text{ m}^3$  (7,6% retornables dentro de su grupo, 4,6% del total), y de forma complementaria el AET con alrededor de  $98.809 \text{ m}^3$  conservaría su porcentaje dentro del global (8%). En consecuencia, la proporción de agua que se ajusta a las

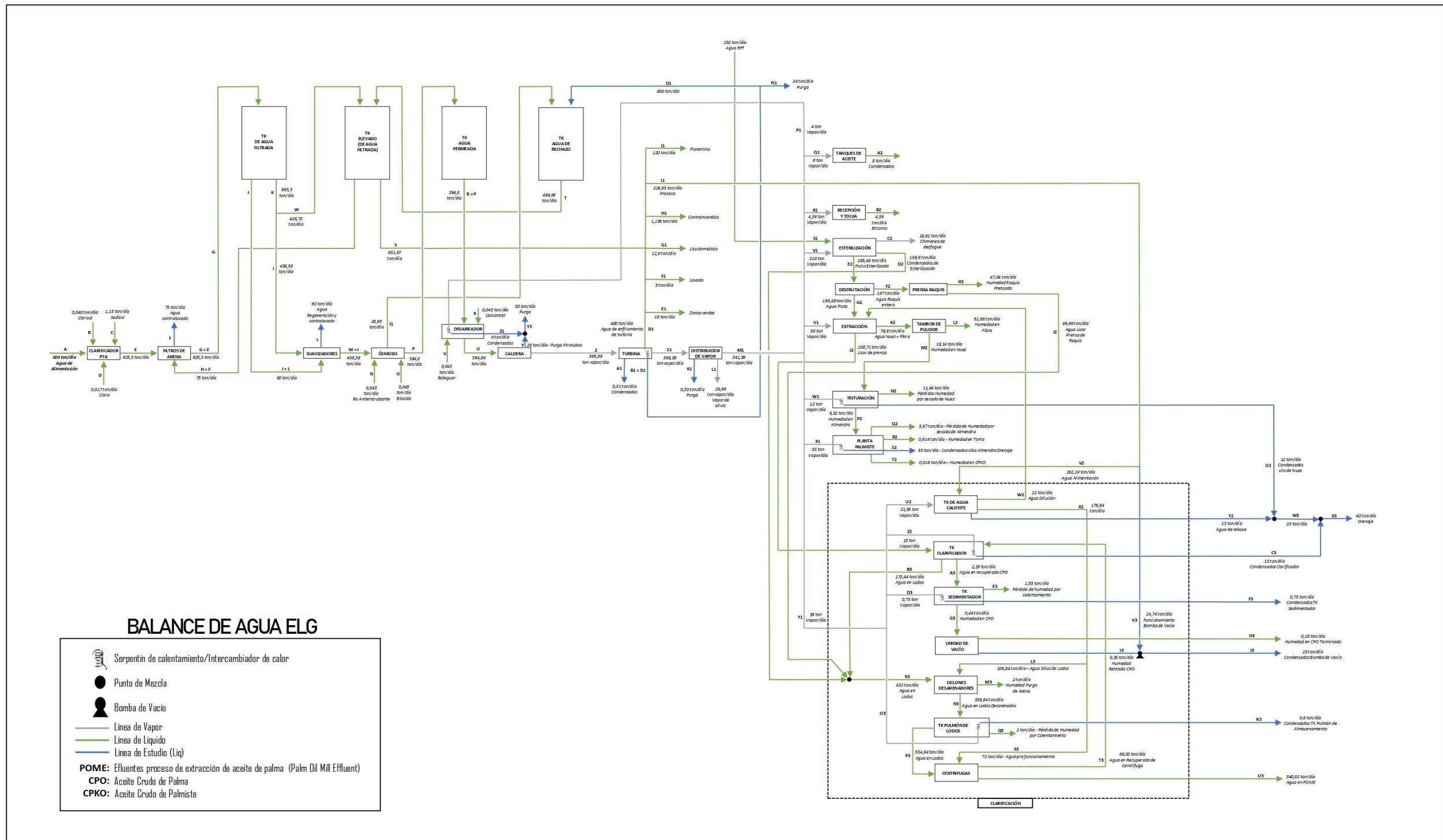
condiciones de reintegración ponderaría la cifra de 399.054 m<sup>3</sup>, valor que se traduce al 34,6% reutilizable de CPFER.

#### **6.4 Balance de agua de la Planta**

El balance de agua de la planta contribuyó con el conocimiento de las rutas del agua dentro del complejo industrial, así como de sus proporciones que permitiera constatar las secciones potenciales a las cuales recircular los flujos de CPFER. En este sentido se logró estimar que la proporción de agua cruda que ingresa a la planta en promedio ronda las 924 ton/día, de las cuales 75 Ton son utilizadas para lavado de Filtros de Arena, 60 ton en lavado de Suavizadores, 120 ton van a Florentino para dilución de lodos, 12, 6 ton son implementadas en uso Doméstico, 18 ton para Zonas Verdes, 3 ton para Lavado en Planta, 1,14 ton para Sistema Contra incendios y alrededor de 217 ton ingresan a Proceso; 22 ton en Dilución para licor de prensa, 107 ton en los Ciclones Desarenadores, 72 ton en funcionamiento de Centrifugas, y 25 ton en funcionamiento de Bomba de Vacío, todas las anteriores son del tipo de agua Filtrada. Por otro lado, se determinó que el agua de Alimentación a Caldera agua se ubica en las 395 ton/día que luego se transforman en vapor requerido para las diferentes áreas del proceso de extracción. El balance de masa total puede ser visualizado en la figura 7.

Figura 7

Localización de los efluentes del proceso y balance de agua en ELG



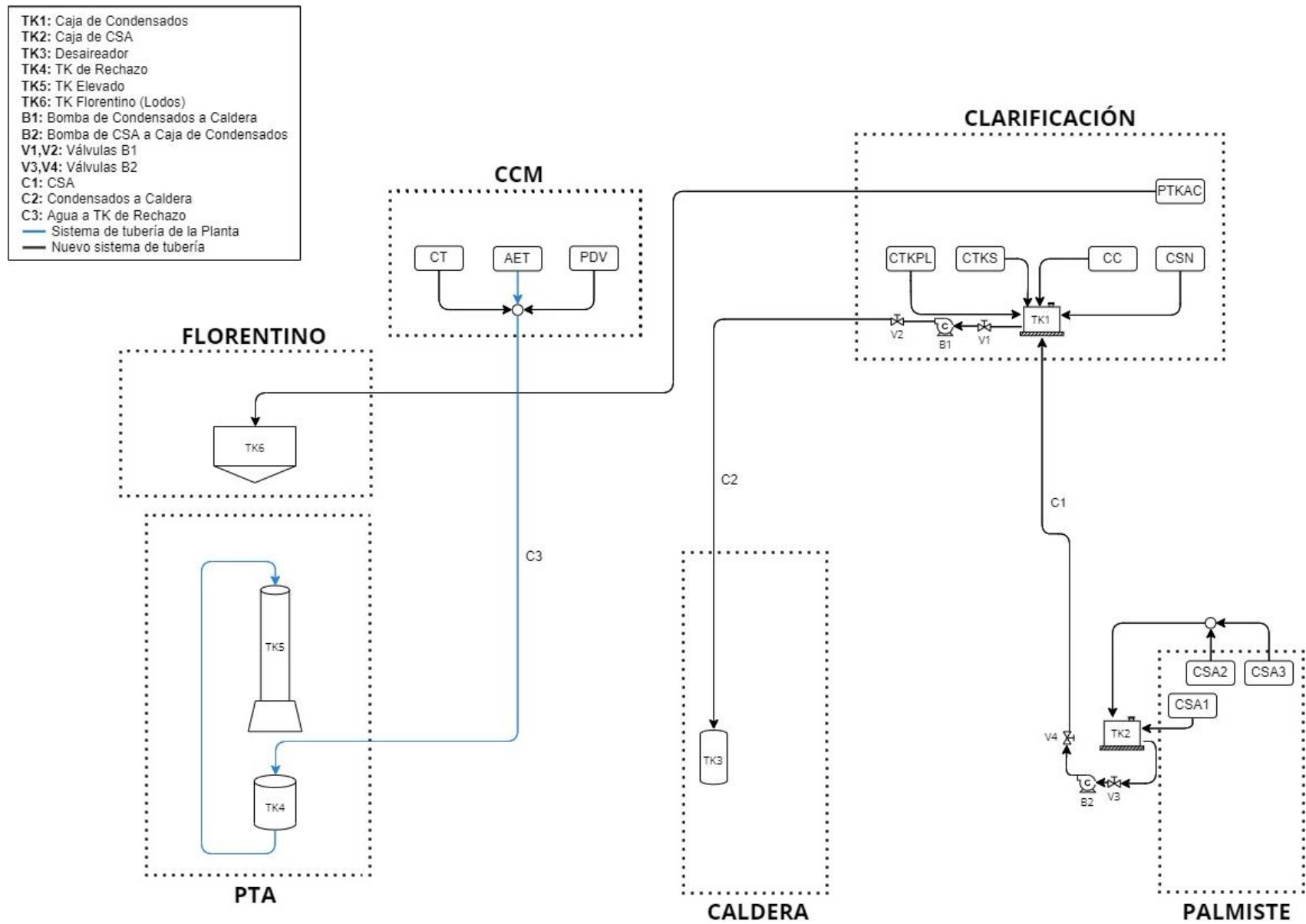
Nota. Aplicar zoom para detallar las corrientes.

## 6.5 Evaluación de propuestas de reintegración de corrientes

Las propuestas fueron definidas con base en el aprovechamiento directo según las condiciones actuales de operación de la planta (propuesta 1). La otra propuesta asume que las condiciones de limpieza de estas aguas CPFER pueden ser alteradas en operaciones futuras y por lo tanto son destinadas al TK de agua Filtrada de PTA. La propuesta N° 1 hace referencia a que principalmente las corrientes de condensados (a excepción de CT) sean alimentadas directamente a la Caldera, ya que los análisis actuales soportan la calidad requerida para este equipo. Es probable que a futuro se tenga incertidumbre de la calidad de las aguas CPFER por lo tanto el documento propone la alternativa n° 2 para esta situación, la cual puede ser profundizada en trabajos futuros. Las figuras 8 y 9 presentan un diagrama de bloques que exponen la propuesta 1 y 2 respectivamente.

**Figura 8**

*Principal sistema propuesto para recirculación de CPFER.*

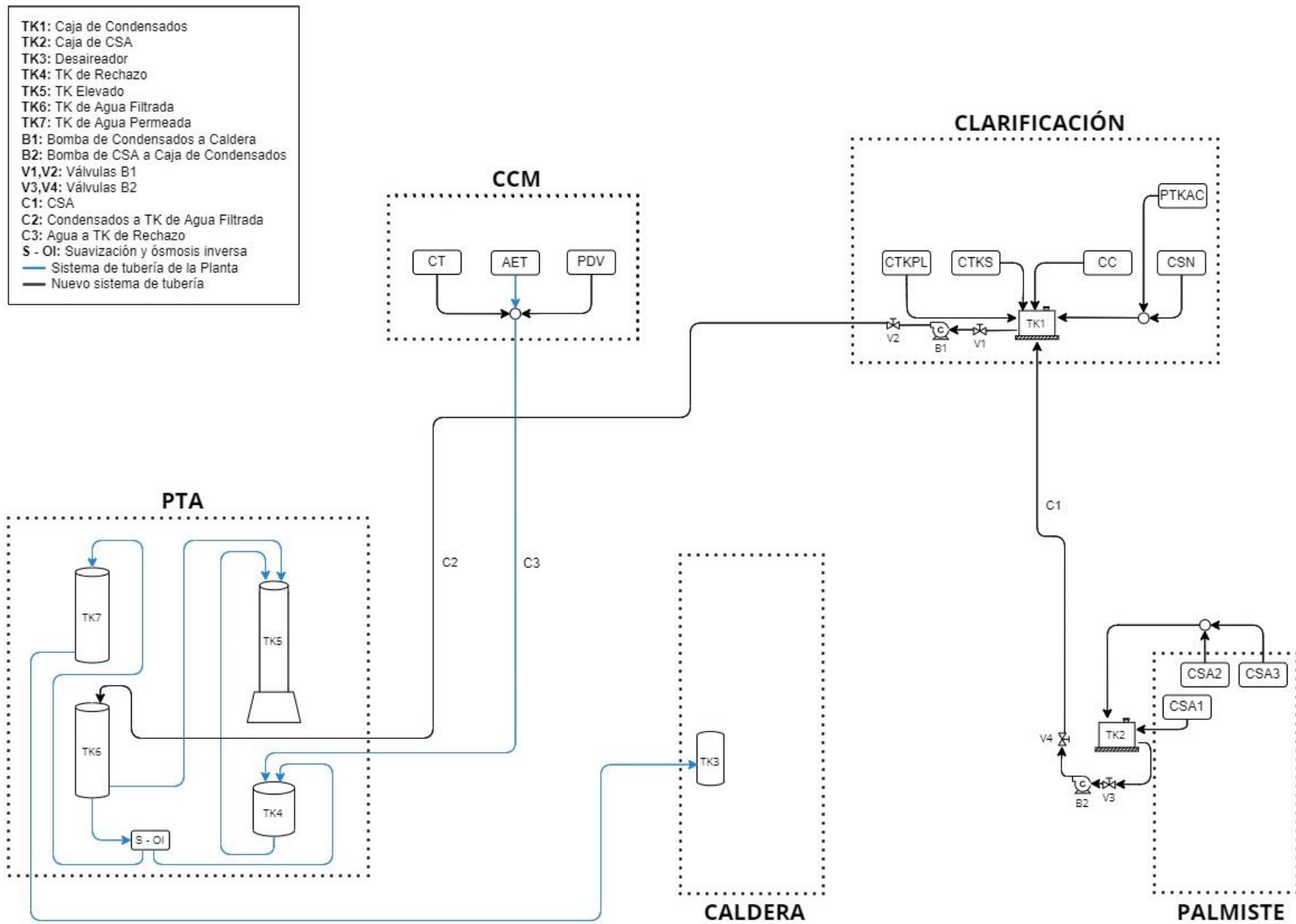


*Nota.* El TK elevado (agua filtrada y de rechazo a T ambiente) distribuye el agua a las diferentes secciones de la planta; Proceso, uso doméstico, contraincendios, zonas verdes, turbina (AET).

El primer sistema, figura 8, presenta una estructura y diseño de equipos más eficientes que la segunda opción, en cuanto a aprovechamiento de corrientes CPFER se refiere, considerando las características propias del agua de reintegración, así como también de los sistemas de tubería y equipos con los que cuenta la planta ELG actualmente. El diseño consta de dos unidades de bombeo siendo la principal la que conduce el total de condensados hasta Caldera, y la segunda la que transporta los CSA hasta la caja de condensados. En consecuencia, casi la totalidad de los condensados (exceptuando los CT por lejanía y bajo caudal) pueden ser recirculados como agua de alimentación a Caldera (TK desaireador) ya que estos cumplen con las características fisicoquímicas para ser ingresados en esta sección de la Planta, concentrando inicialmente sus caudales en una caja ubicada en Clarificación antes de ser bombeadas a su destino en Caldera. Los CT y PDV se anexarían al sistema de tubería del AET dada la proximidad a este, y que por energía potencial el agua de enfriamiento proveniente del TK elevado logra retornar al TK de rechazo manteniendo el ciclo como lo evidencia la figura anterior. Es preciso aclarar que tanto los CT como las PDV debido a su bajo caudal no afectan el promedio de temperatura del agua de retorno al TK de rechazo, esto porque el tipo de agua de rechazo debe conservarse preferiblemente cercana a la temperatura ambiente. Las PTKAC por sus condiciones se enviarían a Florentino como agua de dilución de lodos favoreciendo su transporte por caída libre desde el TK de agua caliente.

Figura 9

Segundo sistema propuesto para recirculación de CPFER.



La segunda alternativa (figura 9) fue propuesta principalmente para evitar el uso de condensados para Caldera, por posible alteración de sus propiedades en un futuro deterioro del sistema general de tubería de la línea de vapor, por tanto, este diseño permitiría el traslado de los condensados (incluyendo las PTKAC) directamente al TK de agua filtrada para alimentar el TK elevado, o pasar por el proceso de suavización y ósmosis inversa convirtiéndose en agua permeada (aplica costo por tratamiento de agua). El AET, CT, y PDV no sufrirían modificaciones en su curso de reintegración comparado con la primera alternativa, al igual que los CSA, siendo enviados a TK de rechazo y caja de condensados respectivamente. En cuanto al incremento de temperatura que podría generar la mezcla de condensados en el TK de agua filtrada, habría que tener precaución y profundizar en estudios posteriores sobre la viabilidad de las proporciones de condensados y agua filtrada presentes en el tanque, ya que con las cantidades actuales el aumento de la temperatura se encontraría cercana a los  $10^{\circ}\text{C}$ , es decir una temperatura promedio de  $35^{\circ}\text{C}$  (asumiendo  $T$  ambiente igual a  $25^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, estas condiciones pueden disminuir al enviar parcialmente el agua filtrada mezclada con condensados al TK elevado que contiene agua de rechazo a  $T$  ambiente, lo anterior se realizaría pensando en la distribución del recurso hídrico desde el TK elevado hacia las diferentes áreas de la Planta.

En la tabla 4 se presenta un paralelo entre los beneficios que ofrece la implementación de cada alternativa de sistema de aprovechamiento de agua. De esta tabla, el sistema N° 1 presenta mayores beneficios que la segunda propuesta. Uno de los puntos importantes es que, el primer sistema permite un mayor aprovechamiento del potencial de ahorro económico por tratamiento de agua no aplicado, ya que propone el uso directo de condensados como agua de alimentación para Caldera, lo cual se traduce como una disminución significativa en el consumo de reactivos PTA. Esta información es ampliada en la sección 6.7.

**Tabla 4**

*Paralelo entre los sistemas propuestos.*

<b>SISTEMA 1</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aprovechamiento eficiente de las propiedades de CPFER</li> <li>○ Uso de sistema de tubería de la Planta para reintegración de CPFER (sistema AET)</li> <li>○ Mayor potencial de ahorro económico por tratamiento de agua no aplicado</li> <li>○ No hay aumento en las condiciones de T de los tanques de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mayor requerimiento de tubería para reintegración de CPFER</li> </ul>
<b>SISTEMA 2</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Menor requerimiento de tubería para reintegración de CPFER</li> <li>○ Uso de sistema de tubería de la Planta para reintegración de CPFER (sistema AET)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Menor aprovechamiento de las propiedades de CPFER</li> <li>○ Menor potencial de ahorro económico por tratamiento de agua no aplicado</li> <li>○ Incremento en la T del agua filtrada por proporciones en la mezcla</li> </ul>

## **6.6 Resultados CAPEX y OPEX**

El análisis de inversión de capital necesario de reintegración de CPFER, al igual que la inversión operativa requerida para el mantenimiento y consumo energético fueron desarrollados, considerando los sistemas 1 y 2. Las tablas 5 y 6 muestran las especificaciones de equipos, estructuras y costes de inversión de capital para poner en marcha el proyecto, mientras que la figura 10 hace referencia al OPEX.

## 6.6.1 CAPEX

Tabla 5

Especificaciones del CAPEX para la propuesta N° 1.

ESTRUCTURAS Y EQUIPOS	DESCRIPCIÓN					VALOR ESTIMADO
Obras civiles	Materiales y maquinaria					\$ 10.000.000
Mano de obra	3 obreros, 30 días de trabajo					\$ 9.000.000
<b>Especificaciones (dimensiones)</b>						
Bomba caja de Condensados a Caldera	Bomba serie IN 32/200A (COD 2964) Acero Inoxidable					\$ 5.081.834
Bomba CSA a caja de Condensados	Bomba serie IN 32/160B (COD 2320) Hierro Fundido					\$ 3.358.000
Caja de Condensados	Contenedor ACUOTOTE Acero Inoxidable 550 Gal					\$ 8.000.000
Caja de CSA	Contenedor ACUOTOTE Acero Inoxidable 550 Gal					\$ 8.000.000
Bridas	4 Bridas Roscadas NPT Acero Inoxidable					\$ 1.160.000
Ampliaciones	4 Ampliaciones Copa Acero al Carbón p/soldar SCH40 2" x 1,1/2"					\$ 80.000
Reducciones	4 Reducciones Copa Acero al Carbón p/soldar SCH40 2" x 1,1/2"					\$ 80.000
Válvulas	4 Dernord Válvulas de Acero Inoxidable 304 de Rosca					\$ 1.040.000
Codos 90°	26 Codos 90° Acero al Carbón C-40 Soldable 2"					\$ 1.716.000
	<b>Tamaño de tubería nominal</b>	<b>Ø Exterior</b>	<b>Espesor de pared</b>	<b>Ø interior</b>	<b>Cantidad</b>	
Tubería de condensados TK Sedimentador	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	10 m	\$ 960.000
Tubería de condensados de Silo de Almendra a Caja de CSA	1,1/4"	42,1 mm	3,56 mm	35,1 mm	30 m	\$ 1.230.000
Tubería de Caja de CSA a Caja de Condensados	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	80 m	\$ 7.680.000

Tubería de condensados de Clarificación	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	10 m	\$ 960.000
Tubería de condensados de Silo de Nuez	1,1/4"	42,1 mm	3,56 mm	35,1 mm	15 m	\$ 615.000
Tubería de condensados TK Pulmón de Lodos	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	15 m	\$ 1.440.000
Tubería de purga TK de Agua Caliente	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	120 m	\$ 11.520.000
Tubería de Caja de Condensados a Caldera	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	90 m	\$ 8.640.000
Tubería Condensados de Turbina	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	2 m	\$ 192.000
Tubería Purga del Distribuidor de Vapor	1,1/4"	42,1 mm	3,56 mm	35,1 mm	5m	\$ 205.000
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 89.053.617</b>

*Nota.* El material de las tuberías está definido por Acero al Carbón.

### Tabla 6

*Especificaciones del CAPEX para la propuesta N° 2.*

ESTRUCTURAS Y EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	VALOR ESTIMADO
Obras civiles	Materiales y maquinaria	\$ 10.000.000
Mano de obra	3 obreros, 30 días de trabajo	\$ 9.000.000
<b>Especificaciones (dimensiones)</b>		
Bomba caja de Condensados a TK Agua Filtrada	Bomba serie IN 32/200A (COD 2964) Acero Inoxidable	\$ 5.081.834
Bomba CSA a caja de Condensados	Bomba serie IN 32/160B (COD 2320) Hierro Fundido	\$ 3.358.000
Caja de Condensados	Contenedor ACUOTOTE Acero Inoxidable 550 Gal	\$ 8.000.000

Caja de CSA	Contenedor ACUOTOTE Acero Inoxidable 550 Gal	\$ 8.000.000
Bridas	4 Bridas Roscadas NPT Acero Inoxidable	\$ 1.160.000
Ampliaciones	4 Ampliaciones Copa Acero al Carbón p/soldar SCH40 2" x 1,1/2"	\$ 80.000
Reducciones	4 Reducciones Copa Acero al Carbón p/soldar SCH40 2" x 1,1/2"	\$ 80.000
Válvulas	4 Dernord Válvulas de Acero Inoxidable 304 de Rosca	\$ 1.040.000
Codos 90°	26 Codos 90° Acero al Carbón C-40 Soldable 2"	\$ 1.716.000

	Tamaño de tubería nominal	Ø Exterior	Espesor de pared	Ø interior	Cantidad	
Tubería de condensados TK Sedimentador	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	10 m	\$ 960.000
Tubería de condensados de Silo de Almendra a Caja de CSA	1,1/4"	42,1 mm	3,56 mm	35,1 mm	30 m	\$ 1.230.000
Tubería de Caja de CSA a Caja de Condensados	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	80 m	\$ 7.680.000
Tubería de condensados de Clarificación	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	10 m	\$ 960.000
Tubería de condensados de Silo de Nuez	1,1/4"	42,1 mm	3,56 mm	35,1 mm	15 m	\$ 615.000
Tubería de condensados TK Pulmón de Lodos	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	15 m	\$ 1.440.000
Tubería de purga TK de Agua Caliente	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	15 m	\$ 1.440.000
Tubería de Caja de Condensados a TK Agua Filtrada	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	150 m	\$ 14.400.000
Tubería Condensados de Turbina	2"	60,3 mm	3,91 mm	52,5 mm	2 m	\$ 192.000
Tubería Purga del Distribuidor de Vapor	1,1/4"	42,1 mm	3,56 mm	35,1 mm	5m	\$ 205.000
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 84.301.617</b>

*Nota.* El material de las tuberías está definido por Acero al Carbón.

Al comparar las tablas 5 y 6 se puede establecer que gran parte del presupuesto para ambos diseños fue destinado al sistema de tubería a causa de las cantidades requeridas; por los altos costos y considerando el tipo de material habitual para estas estructuras, el material de cotización fue acero al carbón. Algunos equipos como bombas de los diseños planteados y contenedores (cajas de condensados) fueron seleccionados en acero inoxidable debido su disponibilidad en el mercado y características de uso (transporte de condensados). También cabe señalar que los presupuestos de inversión no presentan mayor diferencia entre sí (alrededor de 5 millones de pesos colombianos) siendo marcados principalmente por las cantidades de tubería usadas para cada sistema en concreto. A obras civiles y mano de obra se designaron \$19.000.000 teniendo en cuenta un tiempo estimado de 1 mes de trabajo para entrega del proyecto finalizado, mientras que al monto total de inversión se le anexó un 10% de imprevistos por detalles o complicaciones.

Las condiciones y el balance de energía mecánica en los sistemas pueden ser analizadas en las figuras A9, A10, A11 Apéndice A. Las especificaciones para la bomba 1 requerida en el sistema 1 fueron determinadas mediante el balance de energía mecánica (Ec. 3) que presenta los siguientes valores como resultados procedimentales: Para un caudal de trabajo de  $64 \text{ m}^3/\text{día}$ , temperatura de  $85^\circ \text{ C}$ , y tubería de 2" se hallaron las pérdidas  $h_L$  en 0,112 m. Las pérdidas menores  $h_{Lm}$  (accesorios) arrojó para los codos ( $90^\circ$  y 14 unid) la cifra de 0,043 m, por reducciones (2 unid)  $2,39 \times 10^{-3} \text{ m}$ , por ampliaciones (2 unid)  $1,37 \times 10^{-3} \text{ m}$ , y por válvulas (2 unid tipo globo) se calculó en 0,068 m, aproximando las pérdidas totales por tubería y accesorios en 0,227 m. Las pérdidas por caída de presión  $\frac{P}{\gamma}$  fueron estimadas en 2,91 m, y por altura  $Z$  se obtuvo el valor de 7 m. Los datos anteriores permitieron el cálculo de cabeza de la bomba  $h_A$  por despeje dando como resultado

10,14 m, información que luego fue relacionada con la figura A8 Apéndice A para determinar la capacidad de la bomba, arrojando las especificaciones descritas en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Especificaciones de la bomba principal seleccionada del sistema 1.*

<b>COD</b>	<b>MODELO</b>	<b>Q GPM</b>	<b>H m</b>	<b>EFF %</b>	<b>HP</b>
2964	32 - 200 A	80	26	56	3

*Nota.* Adaptado de *Catálogo de productos HIDROMAC, EQUINTER* (p. 8) (<https://equinter.co/wp-content/uploads/2020/01/Cata%CC%81logo-Hidromac.pdf>).

Las características de selección de la bomba 2 (igual para la propuesta 2) para el primer diseño también se hallaron mediante la ecuación de Bernoulli, estimando las pérdidas por tubería 2" en 0,034 m al tomar como referencia el caudal de condensados de silo de almendra de 35 m<sup>3</sup>/día y temperatura de 90° C. En el caso de las pérdidas menores por codos (12 unid, 90°) se encontró un valor de 0,011 m, por reducciones (2 unid) 7,2 x 10<sup>-3</sup> m, por ampliaciones (2 unid) 4,12 x 10<sup>-4</sup> m, y por válvulas tipo globo (2 unid) 0,02 m. El acumulado total de pérdidas por tubería y accesorios se sitúa en 0,066 m, mismo valor para la cabeza de la bomba h<sub>A</sub> según lo demuestra el balance de energía mecánica. Finalmente, con la figura A8 Apéndice A se halló la capacidad de la bomba requerida para este sistema cuyos parámetros se citan en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Especificaciones de la bomba 2 seleccionada para sistema 1 y 2.*

<b>COD</b>	<b>MODELO</b>	<b>Q GPM</b>	<b>H m</b>	<b>EFF %</b>	<b>HP</b>
2320	32 - 160B	80	34	60	3

*Nota.* Adaptado de *Catálogo de productos HIDROMAC, EQUINTER* (p. 4) (<https://equinter.co/wp-content/uploads/2020/01/Cata%CC%81logo-Hidromac.pdf>).

En el caso de la bomba principal (bomba 1) de la segunda propuesta, para un caudal de trabajo de  $77 \text{ m}^3/\text{día}$ , temperatura de  $85^\circ \text{ C}$ , y tubería de 2" las pérdidas  $h_L$  se determinaron en  $0,259 \text{ m}$ . Las pérdidas menores  $h_{Lm}$  por codos ( $90^\circ$  y 14 unid) se situaron en  $0,063 \text{ m}$ , por reducciones (2 unid) en  $3,48 \times 10^{-3} \text{ m}$ , por ampliaciones (2 unid) en  $1,99 \times 10^{-3} \text{ m}$ , y por válvulas (2 unid tipo globo) se calcularon en  $0,099 \text{ m}$ , sumando en total  $0,426 \text{ m}$  de pérdidas por tubería y accesorios. No se consideraron pérdidas de carga por caída de presión debido a la característica del sistema mientras que por altura  $Z$  se definió el valor de  $7 \text{ m}$ . Por último, el cálculo de cabeza de la bomba  $h_A$  dio como resultado  $10,43 \text{ m}$ , valor que también se asoció con la figura A8 Apéndice A para hallar la capacidad de la bomba, arrojando los parámetros descritos en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Especificaciones de la bomba principal seleccionada del sistema 2.*

<b>COD</b>	<b>MODELO</b>	<b>Q GPM</b>	<b>H m</b>	<b>EFF %</b>	<b>HP</b>
2964	32 - 200 A	80	26	56	3

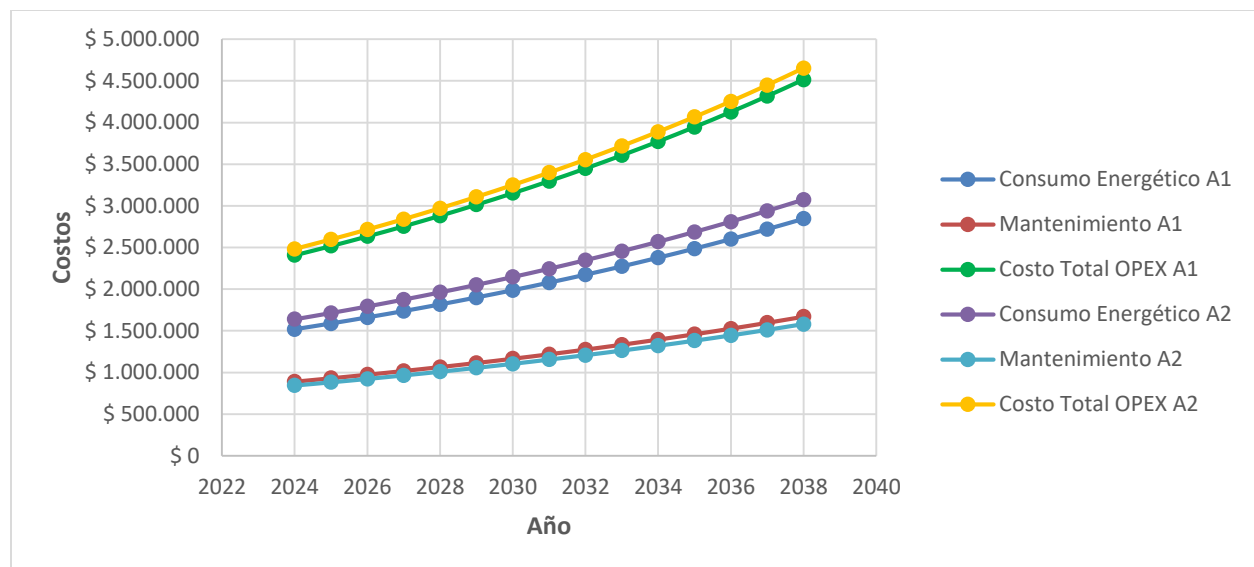
*Nota.* Adaptado de *Catálogo de productos HIDROMAC, EQUINTER* (p. 8) (<https://equinter.co/wp-content/uploads/2020/01/Cata%CC%81logo-Hidromac.pdf>).

### **6.6.2 OPEX**

La inversión operativa por mantenimiento y consumo energético se estableció bajo los siguientes criterios: El presupuesto para mantenimiento se referenció como el 1% de la inversión total entre tanto que el consumo energético se fijó en base a las características de los equipos (bombas) utilizados en cada sistema. La figura 10 presenta la curva de crecimiento de costos por inversión operativa proyectados a 15 años.

**Figura 10**

*Inversión operativa por mantenimiento y consumo energético vs tiempo.*



*Nota.* A1: Alternativa 1; A2: Alternativa 2.

Según la información que ofrece la figura 10 si bien es cierto que los costos por mantenimiento para la alternativa 1 son relativamente mayores que para la alternativa 2 dicha apreciación cambia en el total debido a que los montos por consumo energético para el segundo diseño se incrementan a causa de los m<sup>3</sup> adicionales de CPFER (puntualmente las PTKAC) que se deben enviar por el sistema de reintegración (ver figura 9).

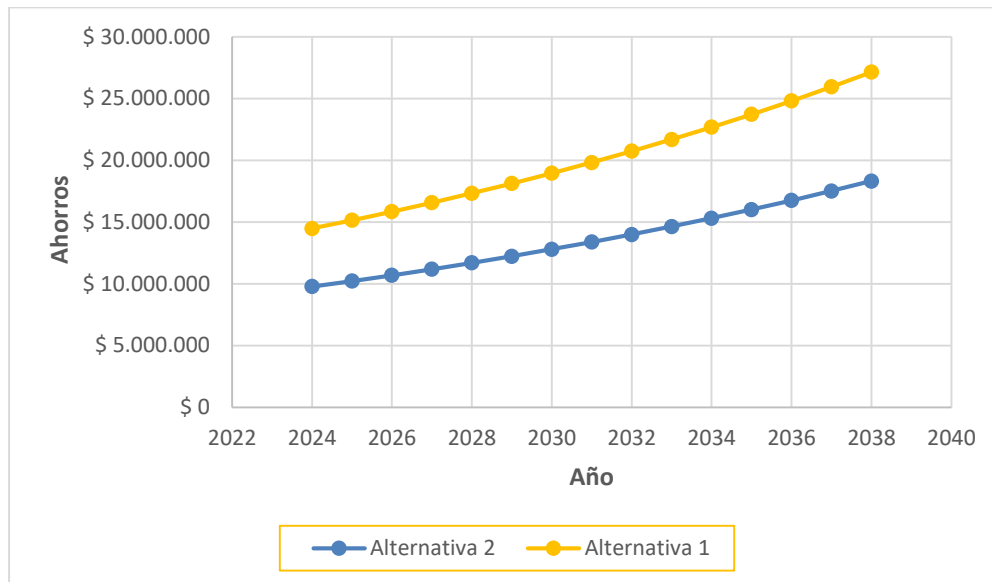
### 6.7 Proyecciones de ahorros económicos para ELG

Se hicieron las proyecciones de ahorros económicos para ELG a 15 años por tratamiento de agua no aplicado debido a la reintegración de corrientes CPFER, realizando el análisis para ambas propuestas, y cuyos valores fueron estimados gracias a los costos de tratamientos de agua que rigen en ELG, \$ 340/m<sup>3</sup> de agua filtrada y \$ 262 adicionales para convertir en agua permeada (tipo del agua de alimentación a Caldera) (2022). Así mismo se tuvo en cuenta el promedio del

índice de inflación de los últimos 5 años (4,59 %) con el cual se proyectaron los valores al multiplicar los precios por los m<sup>3</sup> anuales reintegrados de CPFER (ver tabla D8, D9, D10 Apéndice D). A continuación, en la figura 11 se exhiben los resultados.

**Figura 11**

*Crecimiento de ahorros económicos vs año.*



De la figura 11 es preciso señalar que en efecto el primer diseño ofrece mayores montos de ahorros económicos anuales encontrándose en el rango de los 15 – 30 millones de pesos, mientras que el segundo sistema permite ahorrar entre 10 y 20 millones de pesos por año. Lo anterior se debe a que este último diseño no opta por aprovechar de manera eficiente las propiedades de los condensados como ya se ha nombrado antes, y en su lugar son enviados a TK de agua Filtrada calificando como el tipo de agua mencionada, algo que se deriva en menores ahorros para la Planta.

### **6.8 Resultados flujo de caja e indicadores económicos**

Los flujos de caja proporcionaron información sobre los saldos anuales como resultado de la diferencia entre los ingresos y salidas por costos de operación hallando en primera instancia el EBITDA (ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización) al que luego se le restó la depreciación por equipos (10%) encontrando el EBIT (ganancias antes de intereses e impuestos). No se consideró el impuesto de renta al tratarse de un recurso para rescatar y no de un producto en venta, por tal motivo los valores de flujo de caja resultantes se asemejaron al EBITDA (ver tabla 10 y 11).

Tabla 10

Flujo de caja correspondiente a la alternativa 1.

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
<b>Beneficios</b>																
Ahorro de agua	\$ -	\$ 14.477.662	\$ 15.142.186	\$ 15.837.213	\$ 16.564.141	\$ 17.324.435	\$ 18.119.626	\$ 18.951.317	\$ 19.821.183	\$ 20.730.975	\$ 21.682.527	\$ 22.677.755	\$ 23.718.663	\$ 24.807.350	\$ 25.946.008	\$ 27.136.929
<b>Total</b>	\$ -	\$ 14.477.662	\$ 15.142.186	\$ 15.837.213	\$ 16.564.141	\$ 17.324.435	\$ 18.119.626	\$ 18.951.317	\$ 19.821.183	\$ 20.730.975	\$ 21.682.527	\$ 22.677.755	\$ 23.718.663	\$ 24.807.350	\$ 25.946.008	\$ 27.136.929
<b>Costos OPEX</b>																
Consumo Energético	\$ -	\$ 1.517.500	\$ 1.587.153	\$ 1.660.004	\$ 1.736.198	\$ 1.815.889	\$ 1.899.239	\$ 1.986.414	\$ 2.077.590	\$ 2.172.951	\$ 2.272.690	\$ 2.377.006	\$ 2.486.111	\$ 2.600.223	\$ 2.719.574	\$ 2.844.402
Mantenimientos, 1%	\$ -	\$ 890.536,2	\$ 931.412	\$ 974.164	\$ 1.018.878	\$ 1.065.644	\$ 1.114.557	\$ 1.165.715	\$ 1.219.222	\$ 1.275.184	\$ 1.333.715	\$ 1.394.933	\$ 1.458.960	\$ 1.525.926	\$ 1.595.966	\$ 1.669.221
<b>Total</b>	\$ -	\$ 2.408.036	\$ 2.518.565	\$ 2.634.167	\$ 2.755.075	\$ 2.881.533	\$ 3.013.796	\$ 3.152.129	\$ 3.296.812	\$ 3.448.135	\$ 3.606.405	\$ 3.771.939	\$ 3.945.071	\$ 4.126.150	\$ 4.315.540	\$ 4.513.623
<b>EBITDA</b>	\$ -	\$ 12.069.625	\$ 12.623.621	\$ 13.203.045	\$ 13.809.065	\$ 14.442.901	\$ 15.105.830	\$ 15.799.188	\$ 16.524.371	\$ 17.282.839	\$ 18.076.122	\$ 18.905.816	\$ 19.773.593	\$ 20.681.201	\$ 21.630.468	\$ 22.623.306
Depreciación, 10%	\$ -	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470	\$ 3.717.470
<b>EBIT</b>	\$ -	\$ 8.352.155	\$ 8.906.151	\$ 9.485.575	\$ 10.091.595	\$ 10.725.431	\$ 11.388.360	\$ 12.081.718	\$ 12.806.901	\$ 13.565.369	\$ 14.358.652	\$ 15.188.346	\$ 16.056.123	\$ 16.963.731	\$ 17.912.998	\$ 18.905.836
Impuesto de renta, %	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo operacional</b>	\$ -	\$ 12.069.625	\$ 12.623.621	\$ 13.203.045	\$ 13.809.065	\$ 14.442.901	\$ 15.105.830	\$ 15.799.188	\$ 16.524.371	\$ 17.282.839	\$ 18.076.122	\$ 18.905.816	\$ 19.773.593	\$ 20.681.201	\$ 21.630.468	\$ 22.623.306
<b>Inversiones</b>	\$ 89.053.617	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de caja</b>	(\$ 89.053.617)	\$ 12.069.625	\$ 12.623.621	\$ 13.203.045	\$ 13.809.065	\$ 14.442.901	\$ 15.105.830	\$ 15.799.188	\$ 16.524.371	\$ 17.282.839	\$ 18.076.122	\$ 18.905.816	\$ 19.773.593	\$ 20.681.201	\$ 21.630.468	\$ 22.623.306

Tabla 11

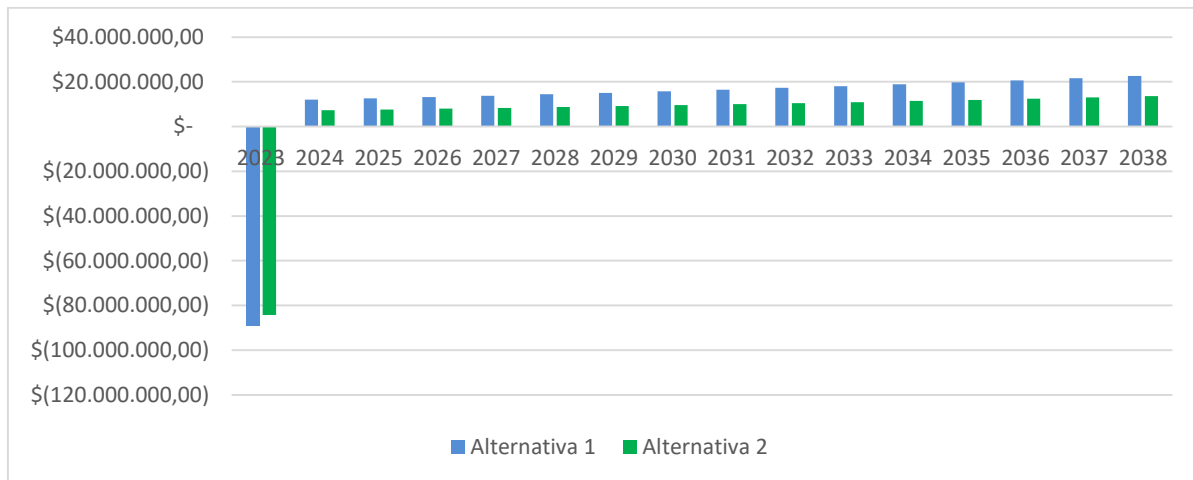
Flujo de caja correspondiente a la alternativa 2.

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
<b>Beneficios</b>																
Ahorro de agua	\$ -	\$ 9.772.074	\$ 10.220.612	\$ 10.689.738	\$ 11.180.397	\$ 11.693.577	\$ 12.230.312	\$ 12.791.684	\$ 13.378.822	\$ 13.992.910	\$ 14.635.185	\$ 15.306.940	\$ 16.009.528	\$ 16.744.365	\$ 17.512.932	\$ 18.316.775
<b>Total</b>	\$ -	\$ 9.772.074	\$ 10.220.612	\$ 10.689.738	\$ 11.180.397	\$ 11.693.577	\$ 12.230.312	\$ 12.791.684	\$ 13.378.822	\$ 13.992.910	\$ 14.635.185	\$ 15.306.940	\$ 16.009.528	\$ 16.744.365	\$ 17.512.932	\$ 18.316.775
<b>Costos OPEX</b>																
Consumo Energético	\$ -	\$ 1.639.598	\$ 1.714.856	\$ 1.793.567	\$ 1.875.892	\$ 1.961.996	\$ 2.052.051	\$ 2.146.240	\$ 2.244.753	\$ 2.347.787	\$ 2.455.550	\$ 2.568.260	\$ 2.686.143	\$ 2.809.437	\$ 2.938.390	\$ 3.073.263
Mantenimientos, 1%	\$ -	\$ 843.016,2	\$ 881.711	\$ 922.181	\$ 964.509	\$ 1.008.780	\$ 1.055.083	\$ 1.103.512	\$ 1.154.163	\$ 1.207.139	\$ 1.262.546	\$ 1.320.497	\$ 1.381.108	\$ 1.444.501	\$ 1.510.804	\$ 1.580.150
<b>Total</b>	\$ -	\$ 2.482.614	\$ 2.596.566	\$ 2.715.749	\$ 2.840.401	\$ 2.970.776	\$ 3.107.134	\$ 3.249.752	\$ 3.398.916	\$ 3.554.926	\$ 3.718.097	\$ 3.888.757	\$ 4.067.251	\$ 4.253.938	\$ 4.449.194	\$ 4.653.412
<b>EBITDA</b>	\$ -	\$ 7.289.460	\$ 7.624.046	\$ 7.973.990	\$ 8.339.996	\$ 8.722.801	\$ 9.123.178	\$ 9.541.932	\$ 9.979.907	\$ 10.437.984	\$ 10.917.088	\$ 11.418.182	\$ 11.942.277	\$ 12.490.427	\$ 13.063.738	\$ 13.663.363
Depreciación, 10%	\$ -	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270	\$ 3.458.270
<b>EBIT</b>	\$ -	\$ 3.831.190	\$ 4.165.776	\$ 4.515.720	\$ 4.881.726	\$ 5.264.531	\$ 5.664.908	\$ 6.083.662	\$ 6.521.637	\$ 6.979.714	\$ 7.458.818	\$ 7.959.912	\$ 8.484.007	\$ 9.032.157	\$ 9.605.468	\$ 10.205.093
Impuesto de renta, %	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo operacional</b>	\$ -	\$ 7.289.460	\$ 7.624.046	\$ 7.973.990	\$ 8.339.996	\$ 8.722.801	\$ 9.123.178	\$ 9.541.932	\$ 9.979.907	\$ 10.437.984	\$ 10.917.088	\$ 11.418.182	\$ 11.942.277	\$ 12.490.427	\$ 13.063.738	\$ 13.663.363
<b>Inversiones</b>	\$ 84.301.617	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de caja</b>	(\$ 84.301.617)	\$ 7.289.460	\$ 7.624.046	\$ 7.973.990	\$ 8.339.996	\$ 8.722.801	\$ 9.123.178	\$ 9.541.932	\$ 9.979.907	\$ 10.437.984	\$ 10.917.088	\$ 11.418.182	\$ 11.942.277	\$ 12.490.427	\$ 13.063.738	\$ 13.663.363

La figura 12 presenta las variaciones de flujo de caja a 15 años para los dos sistemas propuestos, y en la tabla 12 se describen los principales indicadores económicos analizados.

### Figura 12

*Flujo de caja correspondiente al sistema 1 y 2.*



La figura 12 revela que la primera alternativa arroja casi el doble de flujo de caja que la segunda, esto quiere decir que por índice de rentabilidad el primer diseño sería con seguridad el más aceptable como proyecto de inversión. Así mismo puede notarse que las proporciones de financiación de ambas propuestas son muy similares, razón por la cual también la propuesta 2 sería menos rentable. La tabla 12 muestra los resultados de los indicadores económicos VPN (valor presente neto), TIR (tasa interna de retorno) y PR (periodo de recuperación) para los dos sistemas. En los cálculos del VPN y la TIR fue establecida una tasa de oportunidad del 14,5%.

### Tabla 12

*Indicadores económicos.*

	VPN	TIR	PR
<b>ALTERNATIVA 1</b>	\$ 1.413.826	14,80%	7 años
<b>ALTERNATIVA 2</b>	-\$ 29.663.735	7,50%	12 años

Según los datos que ofrece la tabla 12 implementar el sistema 1 como la alternativa de reintegración de CPFER sería lo más acertado, ya que en primer lugar su VPN arroja un valor positivo, lo que representa una condición fundamental para determinar la rentabilidad de un proyecto, mientras que la segunda propuesta se define por un valor negativo. De igual modo la TIR también marca esta diferencia presentado el primer diseño un porcentaje superior a la tasa de oportunidad usada como punto de referencia, y situándose el segundo diseño por debajo de este valor. Por último, el PR para la primera propuesta se ubica casi a la mitad del estimado para el sistema 2, necesitando 7 y 12 años respectivamente a la hora de recuperar el monto de inversión, otro de los puntos en contra de la segunda propuesta puesto que se llevaría prácticamente todo el periodo de vida útil de los sistemas de reintegración para costear los gastos de inversión de capital.

## 7. Conclusiones

- Se estableció la línea base para el programa de ahorro y uso eficiente del agua de la planta Extractora La Gloria S.A.S (ELG), mediante el desarrollo de un balance de masa, definiendo las proporciones de CPFER a través del método volumétrico y de velocidad/superficie, y se logró estimar el potencial de aprovechamiento de agua de la planta, proyectando ahorros económicos de \$ 13.842.300 para la alternativa 1 y \$ 9.343.220 para la alternativa 2 en el año 2023. Del mismo modo se diagnosticaron las propiedades de cada una de las corrientes potenciales con las cuales se pudo seleccionar el tipo de CPFER apto para reintegración.
- Fueron evaluadas las alternativas de integración y reutilización de flujos CPFER, siendo definidas en principio por dos sistemas propuestos que se analizaron a detalle generando el primer diseño una contribución significativa a la disminución del impacto económico y ambiental por parte de la planta ELG. La primera propuesta se caracteriza principalmente por pretender el uso de condensados para Caldera, y el segundo diseño por enviarlos a TK de Agua Filtrada.
- Se determinó que la alternativa n° 1 se posiciona como la opción de reintegración de CPFER más conveniente en cuanto a viabilidad técnica y económica se refiere, considerando su efectividad en el aprovechamiento de las propiedades fisicoquímicas de las corrientes y los balances positivos de los indicadores económicos. De esta manera, para el primer diseño el VPN arrojó un valor de \$ 1.413.826 y TIR de 14,80%, mientras que para la segunda propuesta el resultado del VPN fue de -\$ 29.663.735 y TIR 7,50%.

## 8. Recomendaciones

- Debido a que parte de los condensados se pierden en forma de vapor se podría implementar un sistema de enfriamiento que ayudara a complementar la tarea realizada por las trampas de vapor, aumentando de este modo las proporciones de CPFER para reintegrar. De igual manera las corrientes de vapor que salen por el desfogue en CCM (aunque este punto no se consideró dentro del estudio) podrían ser aprovechadas si se usara un sistema de condensación efectivo, ya que según el balance de masa se pierden alrededor de 27 Ton vapor/día por este conducto.
- Los ahorros económicos que se generan utilizando la segunda alternativa podrían ser incrementados si se realiza un estudio más detallado sobre los efectos que tienen los condensados en las propiedades finales de la mezcla en el TK de agua filtrada, puesto que estas condiciones mejorarían sus parámetros y de esta forma se necesitaría menor cantidad de reactivos en tratamiento para conversión a agua permeada.
- Se aconseja que las cajas de condensados sean ubicadas por lo menos 1 m bajo el nivel de la superficie en caso de ejecutar el proyecto, dado que la línea de tuberías de evacuación de condensados se encuentran a relés del piso y por impulso de vapor es poco probable que los condensados logren ascender al tanque.

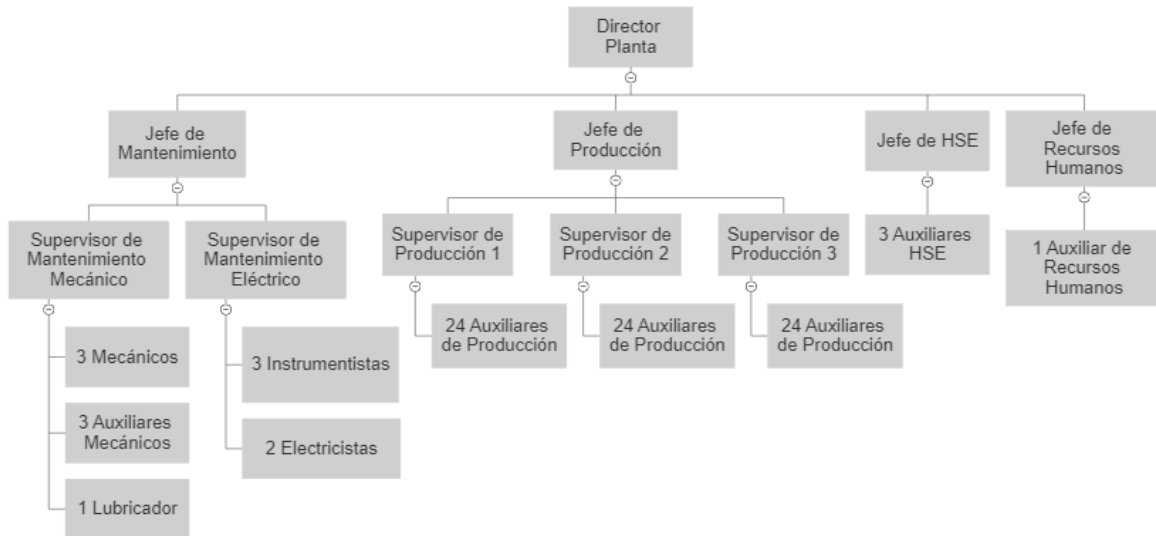
### Referencias bibliográficas

- Anaya, Á. P., & Rojas, D. C. (2011). En *Programa de ahorro y uso eficiente del agua para la extracción de aceite crudo en el sector palmicultor* (pág. 19). Floridablanca, Santander, Colombia.
- Anaya, Á. P., & Rojas, D. C. (2011). En *Programa de ahorro y uso eficiente del agua para la extracción de aceite crudo en el sector palmicultor* (pág. 45). Floridablanca, Santander, Colombia.
- Banbogotá. (18 de Enero de 2023). *Banco de Bogotá grupo AVAL*. Obtenido de <https://www.bancodebogota.com/wps/themes/html/banco-de-bogota/pdf/productos-para-ti/tasas/2023/tasas-enero-2023.pdf>
- Banrep. (05 de Febrero de 2023). *Banco de la República*. Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). En *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones* (pág. 223). MacGraw-Hill.
- Duarte, E. V., Herrera, L. M., Pabón, E. O., & Ramírez, G. A. (2007). En *Estudio de alternativas para la recuperación de aguas residuales en el proceso de obtención de aceite de palma en la planta de beneficio de Guaicaramo S.A.S Meta* (pág. 44). Meta, Colombia.
- Gallo, Ó., Hawkins, D., García, J. E., & Tovar, M. T. (2020). Producción de aceite de palma en Colombia: ¿trabajo decente y saludable? Colombia .
- Guatemala, G. d. (2017). En *Riesgos de la agroindustria de la palma Africana para las áreas protegidas y diversidad biológica en Guatemala* (págs. 2 - 3). Obtenido de [chm.cbd.int/api/v2013/documents/7023F81E-EFBD-F578-8B84-4E4045E2E8A3/attachments/209815/Riesgos%20palma%20de%20aceite%20APs%20y%20biodiversidad.pdf](http://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7023F81E-EFBD-F578-8B84-4E4045E2E8A3/attachments/209815/Riesgos%20palma%20de%20aceite%20APs%20y%20biodiversidad.pdf)
- Herrero, E. G. (27 de 07 de 2015). *iagua*. Recuperado el 05 de 12 de 2021, de [iagua.es/noticias/eva-gonzalez-herrero/15/07/27/agua-industria-crece-demanda-frente-recurso-mas-escaso](http://iagua.es/noticias/eva-gonzalez-herrero/15/07/27/agua-industria-crece-demanda-frente-recurso-mas-escaso)
- Kospa, H. S., Lulofs, K. R., & Asdak, C. (2017). Estimating Water Footprint of Palm Oil Production in PTP Mitra Ogan Baturaja, South Sumatera. *International Journal on Advanced Science Ingeneering Information Tecnology*, 7(06), 2115 - 2116.

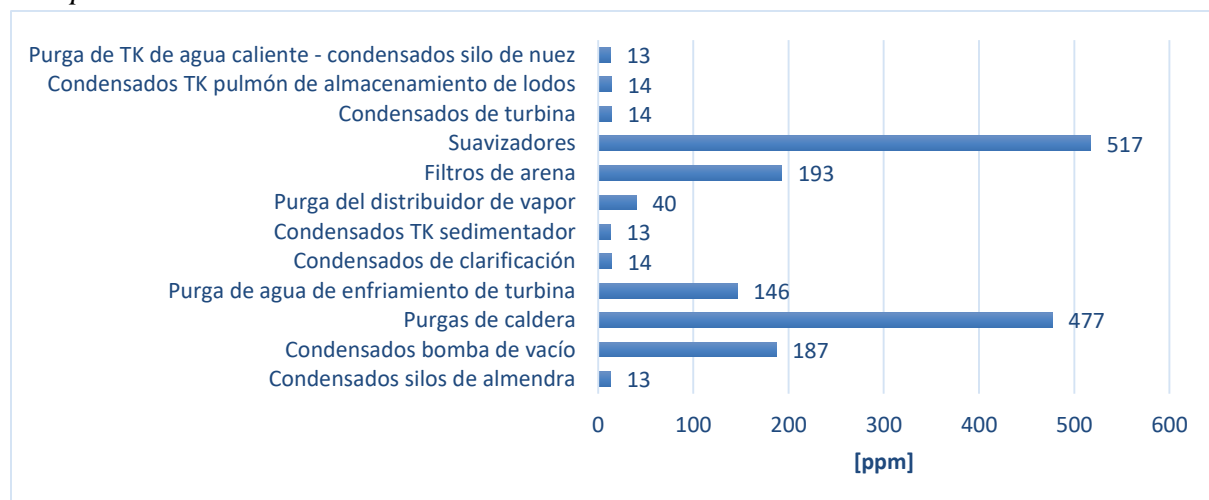
- Morroy, E. F. (2007). Integración energética del proceso de extracción de aceite de palma. *PALMA*, 28(Especial tomo 2), 99 - 100.
- Ngan, M. A. (2000). En *Innovaciones en el manejo del efluente de las plantas extractoras de aceite de palma* (Vol. 21, pág. 44). Kuantan, Pahang, Malasia .
- Pitto, L. D., & Carvajal, A. D. (2017). Monografía de estudio sobre los impactos ambientales que generan el cultivo y producción de palma de aceite Africana (*Elaeis Guineensis jacq.*) en el departamento del Meta. Villavicencio, Meta, Colombia .
- Ramos, P. T. (2018). En *Caudales, aforos y cálculos de las persistencias*. (págs. 6-9).
- Rocha, C. A. (2016). En *cálculo del tránsito de caudales de crecida empleando métodos estadísticos del río aracataca en la estación 29067150 ganadería caribe, en el departamento del magdalena* (pág. 20). Bogotá.
- Rugama, M., & Save, R. (2013). Efecto Vertido Aguas Mieles En Calidad Físico-Química Del Agua Microcuenca Rio Cuspire Yalí, Nicaragua. *Ciencias ambientales*, 2, 45.
- Sabriyah, H., Lulofs, K. R., Asdak, C., & Rahim, S. E. (2017). Strategies to reduce water footprint in palm oil production: A case of PTP Mitra Ogan, Baturaja, South Sumatra. Padjadjaran, South Sumatra, Indonesia .
- Sinnaps*. (s.f.). Obtenido de <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/linea-base-de-un-proyecto>
- Unesco. (2014-2015). *Abordar la escasez y la calidad de agua*. Recuperado el 03 de 12 de 2021, de [es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad](https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad)
- Unidas, N. (24 de 11 de 2014). *ONU-DAES*. Recuperado el 03 de 12 de 2021, de [un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml](https://un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml)
- Unidas, N. (24 de 11 de 2014). *ONU-DAES*. Obtenido de [un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml](https://un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml)
- Wambeck, N. (2005). En *Sinopsis del proceso de la palma de aceite* (Vol. 1, pág. 13). Bogotá, Colombia: Fedepalma.
- Wambeck, N. (2005). En *Sinopsis del proceso de la palma de aceite* (Vol. 1, págs. 3-48). Bogotá, Colombia: Fedepalma.

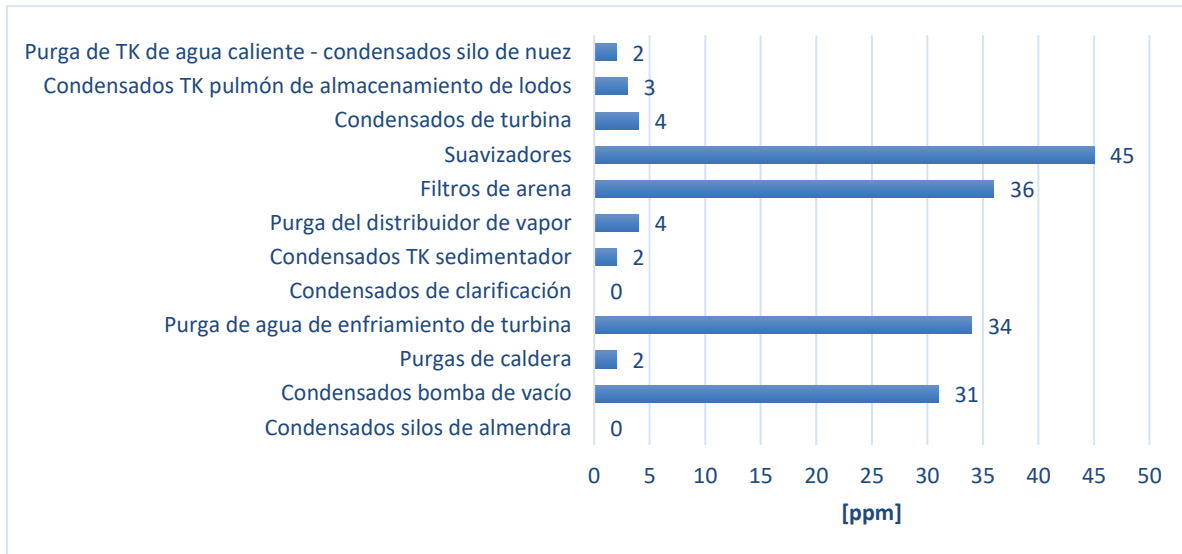
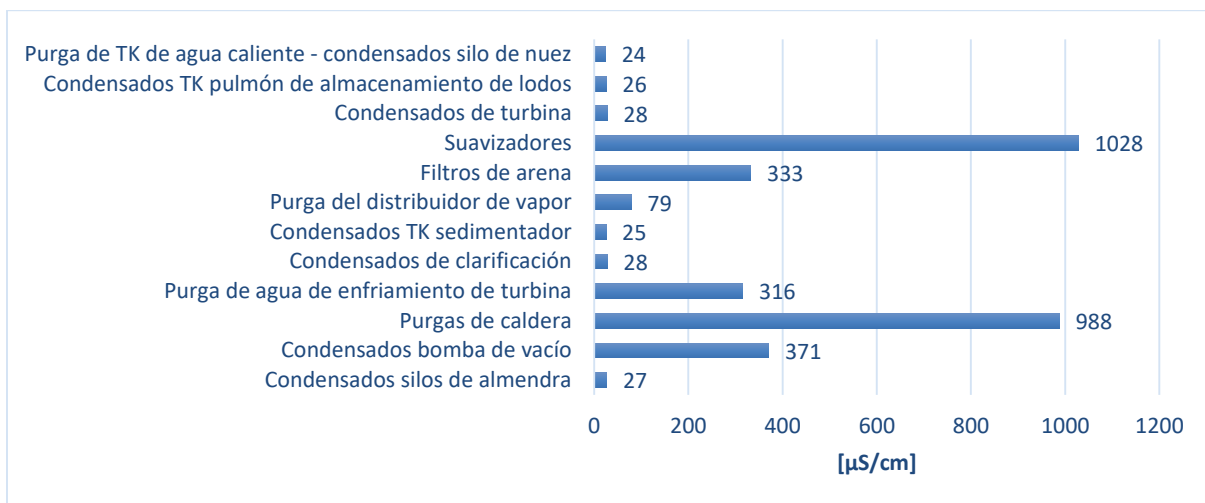




**Figura A3***Estructura organizacional de ELG.*

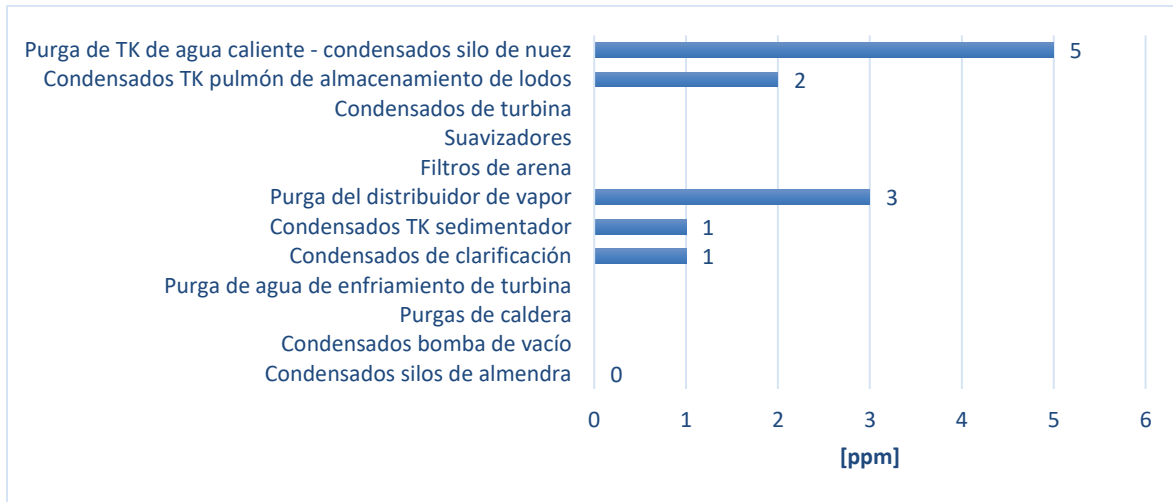
Las propiedades mostradas en las figuras A4, A5, A6 y A7 tienen gran inferencia dentro de proceso de tratamiento de agua en PTA, pues evalúan la concentración de componentes presentes en el agua que pueden causar corrosión e incrustaciones en el sistema de generación de vapor, razón por la cual son monitoreadas frecuentemente.

**Figura A4***Comparación de SDT entre las corrientes CPFER.*

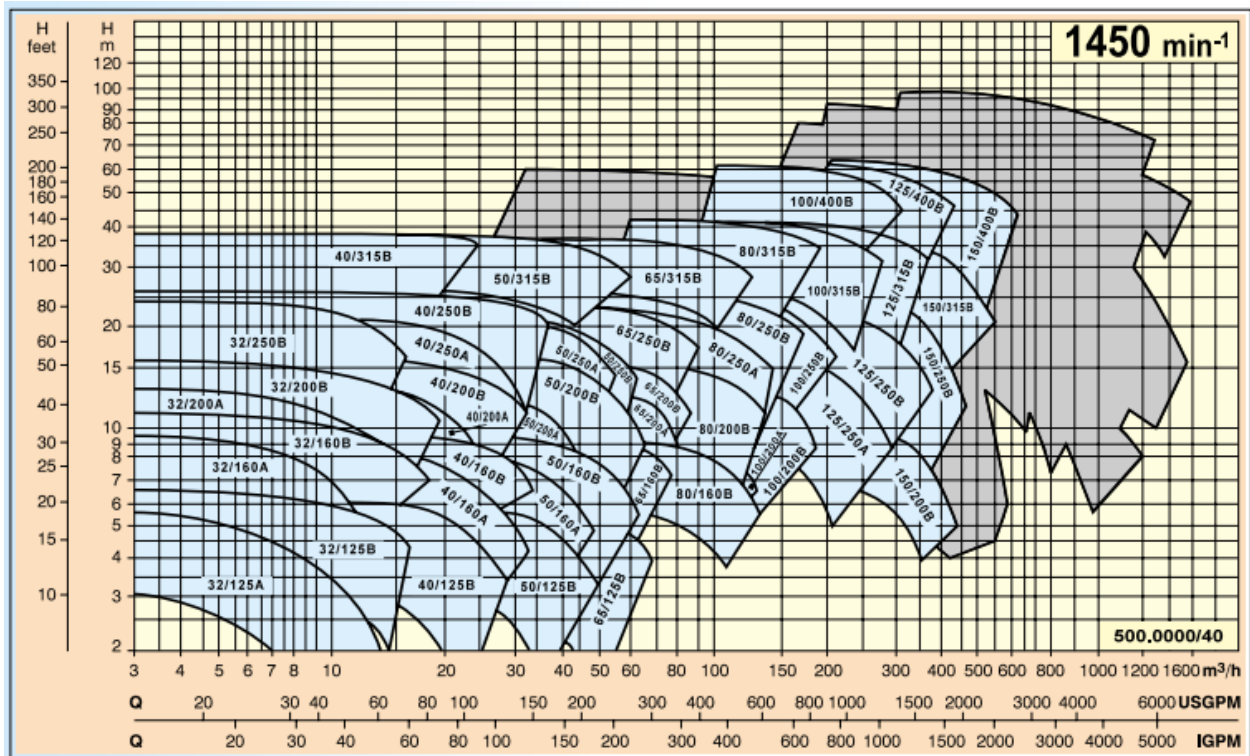
**Figura A5***Valores de Dureza para las corrientes CPPER.***Figura A6***Conductividad de las corrientes analizadas.*

**Figura A7**

*Sílice presente en las corrientes CPFER.*



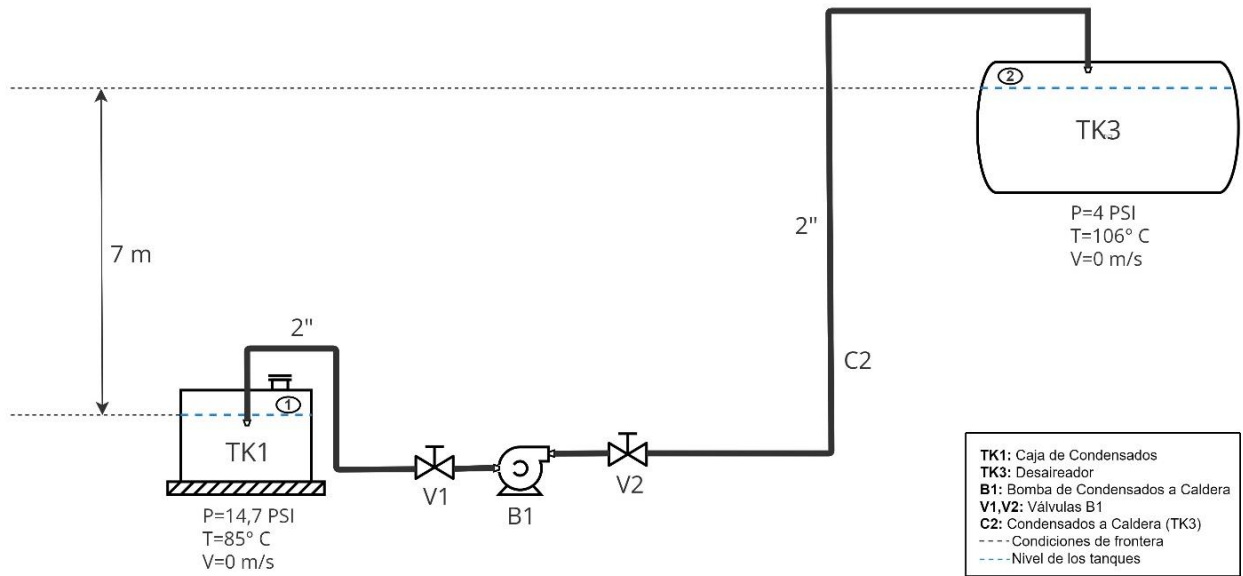
*Nota.* Sólo se logró caracterizar sílice de 6 corrientes de salida, principalmente la mayor parte de la línea de condensados debido a las limitaciones de reactivos.

**Figura A8***Diagrama de selección de bomba.*

*Nota.* Tomado de *Bombas Centrifugas Normalizadas*, BOMBAS ITUR (p. 6) ([https://formacion-industrial.com/wpcontent/uploads/jetformbuilder/093b243be9baeeca14f875efdc2b403f/2022/09/Bombas-centrifugas-normalizadas-CI\\_IN.pdf](https://formacion-industrial.com/wpcontent/uploads/jetformbuilder/093b243be9baeeca14f875efdc2b403f/2022/09/Bombas-centrifugas-normalizadas-CI_IN.pdf)).

**Figura A9**

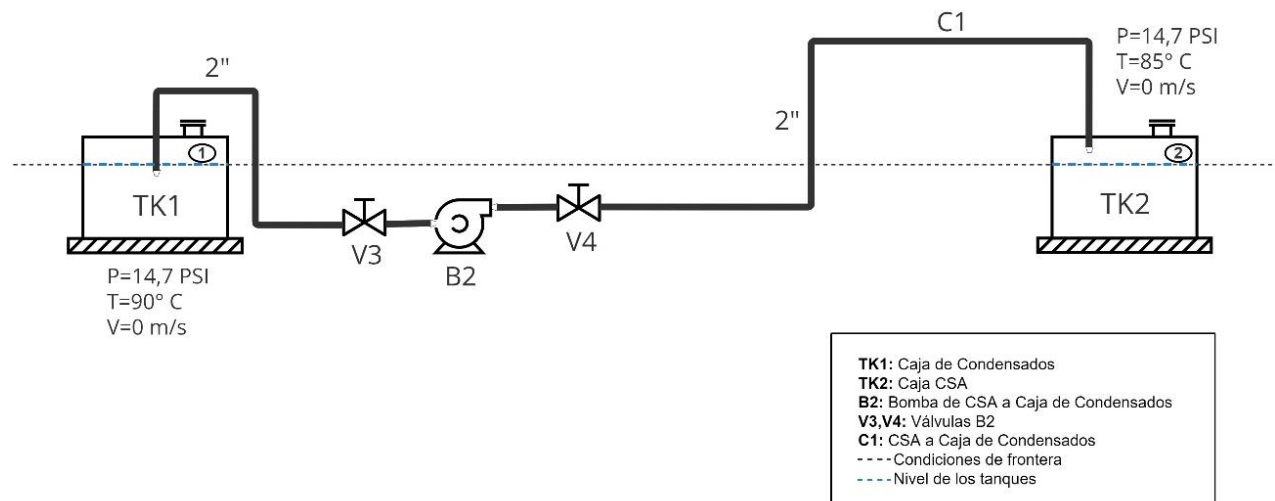
*Sistema de bomba de Condensados a Caldera (bomba principal sistema 1).*



$$h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_L \quad (\text{Ec. A1})$$

**Figura A10**

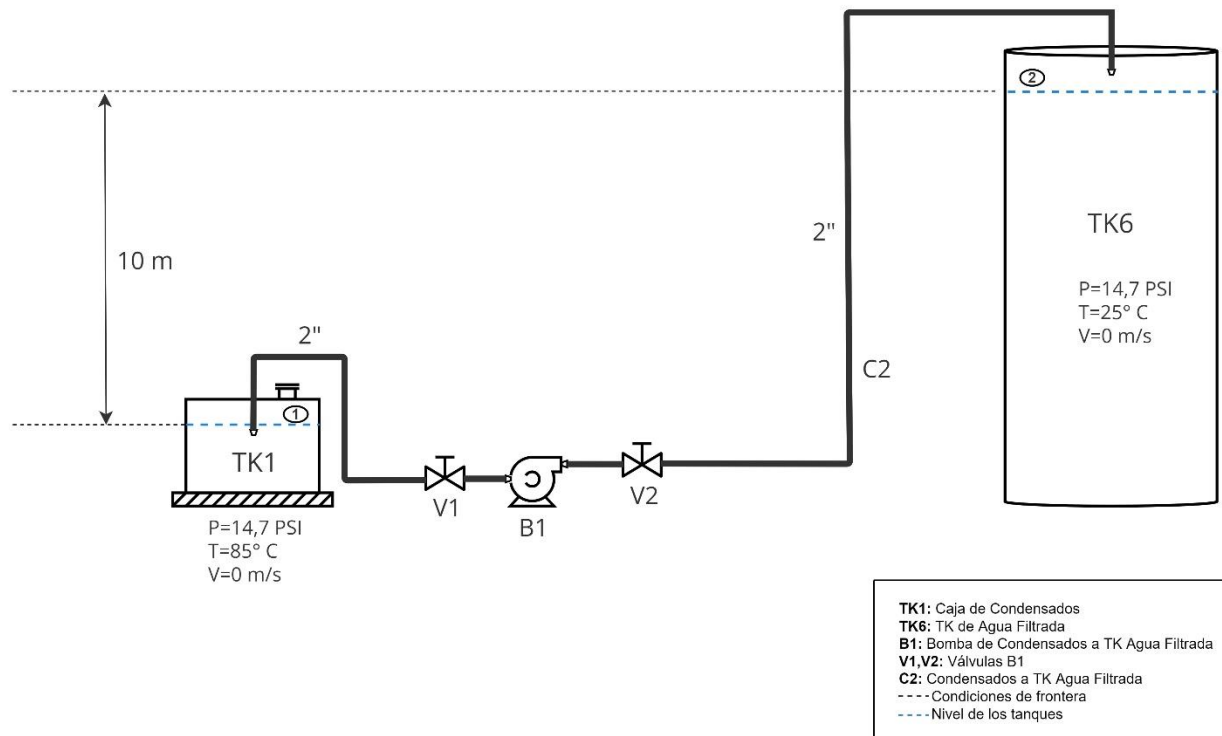
*Sistema de bomba de CSA a Caja de Condensados (bomba 2 para sistema 1 y 2).*



$$h_A = h_L \quad (\text{Ec. A2})$$

**Figura A11**

*Sistema de bomba de Condensados a TK de agua Filtrada (bomba principal sistema 2).*



$$h_A = Z_2 + h_L \quad (\text{Ec. A3})$$

*Nota.* Las ecuaciones A1, A2 y A3 corresponden al despeje de cabeza de bomba desde la ecuación de balance de energía mecánica (Ec. 3) para cada bomba utilizada en los sistemas propuestos.

**Apéndice B.** Instrumentos y protocolo de medición de propiedades.

En primer lugar, se realizó un sondeo por las diferentes secciones del complejo industrial para identificar los puntos de CPFER, y posteriormente se colectaron muestras en cada uno de los puntos considerados que luego fueron llevadas al laboratorio de ELG para el análisis correspondiente. El registro (tabla D1 Apéndice D) se llevó a cabo durante un periodo de 5 días (1 prueba por día), y se usaron recipientes reciclables (botellas plásticas) como medio de colección de las muestras.

**pH, SDT, Conductividad.** Estos parámetros fueron caracterizados por medio del instrumento *Combo pH & EC waterproof by Hanna Instruments*, un tester digital de fácil manejo que cambia de variable de medición pulsando la opción MODE y esperando un lapso de tiempo de lectura después de introducirlo en el recipiente de la muestra. Antes de la medición se hizo un lavado en la parte inferior del equipo (sensores), quedando impregnando con la muestra para generar la purga y garantizar la precisión de los resultados obtenidos.

**Temperatura.** Las temperaturas fueron tomadas usando un Termómetro Bimetálico marca *Rockage* al introducir la sección longitudinal en el recipiente donde estaba contenida la muestra. Para asegurar la exactitud de la lectura fue necesario esperar un lapso de tiempo cercano a 1 min (hasta estabilizar la aguja del termómetro), mediciones que se corroboraron con una segunda y tercera toma.

**Turbidez.** Para la prueba de Turbidez se consideró el instrumento HI-93703 *Portable Turbidity Meter by Hanna Instruments*. El equipo funciona haciendo pasar un haz de luz infrarroja sobre un vial (cubeta pequeña de vidrio) que contiene la muestra a medir, y un sensor ubicado a

90° respecto al rayo de luz que impacta la cubeta detecta la cantidad de luz dispersada por las partículas no disueltas. Posteriormente, un microprocesador convierte la lectura en unidades NTU. El procedimiento para la medición es el siguiente; 1. Se realiza una purga a la cubeta con la muestra que se quiere caracterizar 2. luego se llena el recipiente hasta el aforo señalado y se sella 3. Se limpia el recipiente con un paño por parte exterior para evitar errores de medición debido a la presencia de otras partículas en la superficie 4. La cubeta es introducida al equipo y este último se enciende pulsando el botón ON/OFF 5. Oprimir la opción READ para iniciar la lectura con la cual aparecerá en el panel la palabra SIP, indicando que la medición está en curso, se esperaran alrededor de 20 – 30 seg hasta arrojar el resultado 6. Se apaga el equipo pulsando la opción ON/OFF 7. Finalmente se retira la cubeta y se extrae la muestra contenida.

**Alcalinidad.** En primer lugar, se deben tomar alrededor de 10 ml de la muestra y depositarlos en un *Beaker* de 50 ml de capacidad (previamente purgar el recipiente) 2. Agregar 2 gotas del indicador 1<sup>1</sup> y agitar brevemente; si la mezcla se mantiene incolora la alcalinidad P es cero (escalar al paso n° 3). Por el contrario, si presenta una coloración rosa quiere decir que existe alcalinidad P (alcalinidad Fenolftaleína, pH > 8,3) y se debe agregar titulante<sup>2</sup> (por goteo) hasta generar el viraje de color rosa a incoloro 3. Continuar con la determinación de la alcalinidad M (alcalinidad Metil Naranja, 8,3 > pH > 4,5) añadiendo 2 gotas del indicador 2<sup>3</sup> para lo cual la mezcla tomará una tonalidad azul. Agregar titulante hasta virar a color amarillento.

---

<sup>1</sup>Indicador 1: Solución compuesta de 99% de Etanol y 1,0 % de Fenolftaleína.

<sup>2</sup>Titulante: Ácido sulfúrico al 0,5%

<sup>3</sup>Indicador 2: Solución de isopropanol al 90%.

4. Realizar la sumatoria de la cantidad (gotas) de titulante usado para hallar la alcalinidad P y la alcalinidad M; Cada gota de reactivo equivale a 2 ppm. Hacer el cálculo pertinente para encontrar la alcalinidad total en ppm (ver Ec. 1B).

$$\text{Alcalinidad Total [ppm]} = (\text{N}^\circ \text{ de gotas totales de titulante usado}) \times 2 \text{ ppm} \quad (\text{Ec. 1B})$$

**Dureza.** Para determinar la dureza se toman 10 ml aproximadamente de la muestra en un vaso de precipitado de 50 ml de capacidad (antes de iniciar el procedimiento se realiza la purga correspondiente) 2. Agregar 3 gotas de Buffer 109<sup>4</sup> y luego añadir un pelín de Negro de Eriocromo T usando una espátula. Agitar la mezcla hasta lograr homogeneidad; si el color indica tonalidad azul, quiere decir que no hay dureza presente en el agua. Por el contrario, si la mezcla se torna color rosa entonces existe dureza 3. Sí existe dureza agregar la cantidad necesaria de Buffer 108<sup>5</sup> (en forma de gotas) para generar el viraje de color rosa a color azul en la solución. El factor de conversión de buffer 108 utilizado para el cambio de color equivale a 2 ppm (partes por millón) por gota 4. Finalmente se realiza el cálculo de dureza usando la equivalencia anterior (ver Ec. 2B).

$$\text{Dureza [ppm]} = (\text{N}^\circ \text{ de gotas Buffer 108 usado}) \times 2 \text{ ppm} \quad (\text{Ec. 2B})$$

---

<sup>4</sup>El Buffer 109 es una solución compuesta por 6% en peso de Cloruro de Amonio, 57% en peso de Hidróxido de Amonio, y 36% en peso de Agua Destilada.

<sup>5</sup>Buffer 108: Ácido etilendinitrilotetraacético, sal di sódica (EDTA) al 0,5%.

**Color.** La medición de esta variable se llevó a cabo mediante el instrumento *Checker UPC color of wáter* by *Hanna Instruments*, cuyo manejo está basado en oprimir un único botón ubicado en la parte central. El sistema óptico interno se encarga de hacer la lectura de la muestra contenida en una celda (cubeta de vidrio) que es introducida en el equipo, mientras que el Display permite observar el resultado obtenido. Antes de iniciar la medición se debe agregar un blanco (agua destilada) a una de las cubetas que servirá como punto de referencia. De igual manera se debe preparar una segunda cubeta, pero con la muestra que se quiere caracterizar. Los pasos para la determinación del color se establecen a continuación:

1. Realizar el encendido del equipo oprimiendo el botón. Pasados unos segundos la pantalla mostrará la escritura “C.1” indicando que el equipo está listo para que el blanco sea introducido.
2. Insertar la cubeta que contiene el blanco y presionar el botón nuevamente. El sistema óptico interno realizará la lectura correspondiente hasta fijarlo como punto de referencia, y posteriormente aparecerá en el Display el mensaje “C.2”
3. Extraer el blanco e introducir la cubeta que contiene la muestra. Oprimir el botón y esperar unos segundos hasta que el panel arroje el resultado de la medición en unidades UPC.

**Sílice.** Para medir la Sílice se usó un procedimiento parecido a la caracterización de Color implementando el *Checker ppm silica HR* by *Hanna Instruments* con la diferencia de agregar tres reactivos a la muestra que está contenida en la segunda cubeta. Se añade el reactivo A y B agitando brevemente la cubeta y se deja reposar la mezcla durante un lapso de tiempo de 10 min aproximadamente. Posteriormente se agrega el reactivo C agitando nuevamente el recipiente sellado con la tapa y luego se lleva al *Checker* para realizar la medición.

**Apéndice C.** Métodos aplicados en la medición de caudal.

- **Primer sistema de aforo de caudal**

Este primer método permitió cuantificar las corrientes ubicadas en los sistemas de drenaje de la planta, específicamente en el área de Clarificación, CCM y PTA, donde desembocan algunos condensados y flujos de agua que por las condiciones de infraestructura en tubería o gran caudal no se pueden estimar a través del método volumétrico. Se trata de las Purgas del TK de agua caliente, Condensados del silo de secado de nuez, Condensados de clarificación, Purgas de caldera, filtros de arena y de los suavizadores de PTA. De esta manera, para hallar el caudal se usó la Ec. 2 que sugiere encontrar el área transversal ( $A$ ) y multiplicarla por la velocidad media ( $V_m$ ) de la corriente. Los materiales e instrumentos requeridos para este sistema de medición se presentan a continuación:

**Materiales e instrumentos:**

- Cronómetro
- Colorante líquido artificial
- Regla metálica milimetrada (30 cm)
- Flotador (bolas de ping pong)
- Hoja de registro de datos

El cronómetro cumple la función de estimar el tiempo que tarda el colorante artificial o el elemento flotador en recorrer la distancia establecida entre dos puntos del canal (para encontrar  $V_m$ ); En el caso de los sistemas de drenaje de ELG se fijaron 2 metros para los puntos de Purga  $T_k$  de agua caliente/Condensados de silo de nuez/Condensados de clarificación y Purgas de

caldera; 6 metros para los puntos de PTA (purgas de filtros de arena y suavizadores). Estos valores se escogieron en base a la distancia disponible entre corrientes de CPFER que desembocan en el mismo canal, con el fin de determinar los caudales de forma independiente antes de que las corrientes se mezclen. Por otra parte, el elemento flotador se utilizó para verificar las mediciones realizadas con el colorante artificial, y asegurar una mejor aproximación de los datos de la velocidad media total  $V_mT$  (ver Ec. C3). Finalmente, se dispuso de la regla milimetrada para tomar datos de nivel (h) del agua corriente en el canal registrando la altura al inicio de la sección escogida (I), en la mitad (C) y al final (F), datos que luego se promediaron para incluir en las Ec. C10 y C17, y calcular el área transversal correspondiente.

**Velocidad media Total  $V_mT$ :**

$$V_m = \frac{df - di}{tf - ti} \quad (\text{Ec. C1})$$

**df:** valor final de la distancia

**di:** valor inicial de la distancia

**tf:** tiempo final

**ti:** tiempo inicial

Considerando que las condiciones iniciales son iguales a cero queda la siguiente ecuación.

$$V_m = \frac{d}{t} \quad (\text{Ec. C2})$$

Entonces,

$$VmT = \frac{d1 + d2 + d3 + \dots d12}{t1 + t2 + t3 + \dots t12} \quad (\text{Ec. C3})$$

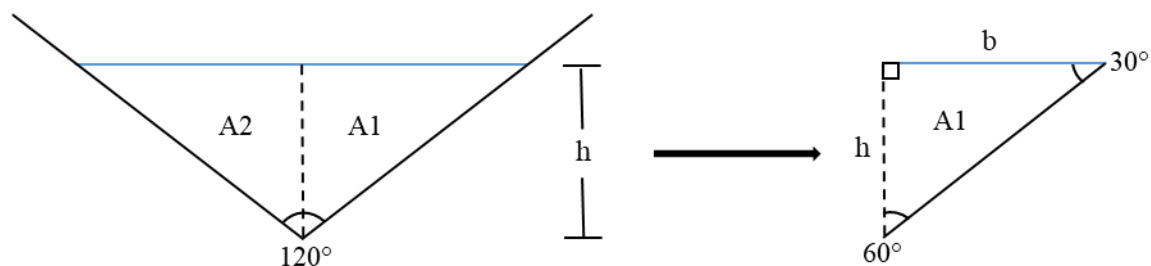
Donde  $d1, d2, t1, t2$  son las mediciones realizadas con Colorante artificial en la primera toma del día, y  $d3, t3$  la registrada con el flotador, repitiendo este patrón con las otras nueve mediciones restantes. En total se tomaron 12 datos de distancia y tiempo durante la jornada (8 datos con Colorante y 4 con el flotador; ver tabla D2 Apéndice D)

### Área Transversal:

Se halló el área transversal de los canales de drenaje de Clarificación, CCM y PTA limitada por el nivel del agua corriente (línea horizontal azul). La figura C1 muestra la forma triangular en la sección del canal de Clarificación y CCM, mientras que la acequia en PTA toma el diseño de un trapecio (figura C2), precisando el área en términos de altura ( $h$ ) para ambos casos, cuyas expresiones se ven representadas en las Ec. C10 y C17. Esto se hizo con la intención de simplificar el número de datos necesarios para el cálculo del caudal y disminuir el tiempo de registro.

### Figura C1

*Vista frontal canal de drenaje de Clarificación y CCM.*



Aplicando la ley del seno y despejando a ( $b$ ) se obtiene,

$$\frac{h}{\text{sen } 30^\circ} = \frac{b}{\text{sen } 60^\circ} \quad (\text{Ec. C4})$$

$$b = h \times \frac{\text{sen } 60^\circ}{\text{sen } 30^\circ} \quad (\text{Ec. C5})$$

Ahora,

$$A1 = \frac{b \times h}{2} \quad (\text{Ec. C6})$$

Considerando que el área transversal es el doble de A1 y reemplazando la Ec. C6 en C7 resulta,

$$A_T = 2A1 \quad (\text{Ec. C7})$$

$$A_T = 2 \times \frac{b \times h}{2} = b \times h \quad (\text{Ec. C8})$$

Se sustituye la Ec. C5 en C8,

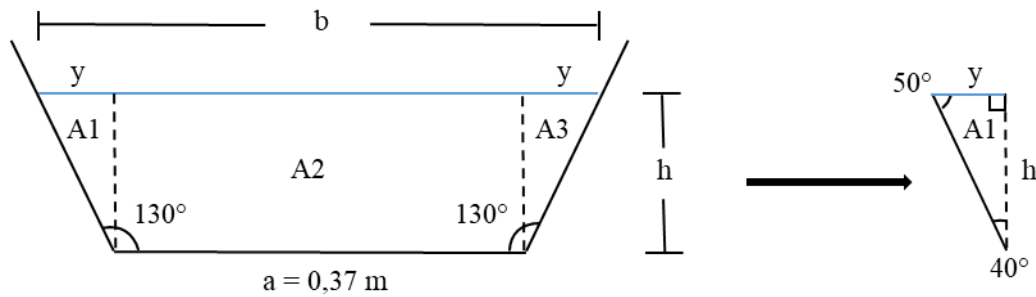
$$A_T = h \times \frac{\text{sen } 60^\circ}{\text{sen } 30^\circ} \times h = h^2 \times \frac{\text{sen } 60^\circ}{\text{sen } 30^\circ} \quad (\text{Ec. C9})$$

Finalmente se modifica la Ec. C9 para hallar el área transversal comprendida entre el canal y el nivel del agua (promedio del nivel del agua durante la jornada) en la zona de Clarificación y CCM

$$A_T = \left( \frac{h1 + h2 + h3 + \dots + h12}{12} \right)^2 \times \frac{\text{sen } 60^\circ}{\text{sen } 30^\circ} \quad (\text{Ec. C10})$$

**Figura C2**

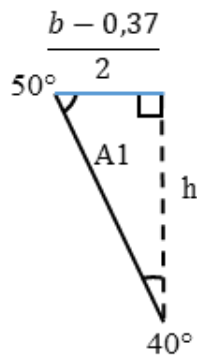
Vista frontal canal de drenaje de PTA.



Para expresar a ( $y$ ) en términos de ( $b$ ) se realiza la siguiente operación,

$$2y = b - 0,37 \quad (\text{Ec. C11})$$

$$y = \frac{b - 0,37}{2} \quad (\text{Ec. C12})$$



Aplicando la ley del seno y dejando a ( $b$ ) en función de ( $h$ ),

$$\frac{\frac{b - 0,37}{2}}{\text{sen } 40^\circ} = \frac{h}{\text{sen } 50^\circ} \quad (\text{Ec. C13})$$

$$b = 2h \times \frac{\text{sen } 40^\circ}{\text{sen } 50^\circ} + 0,37 \quad (\text{Ec. C14})$$

Conociendo que,

$$A_T = \frac{a + b}{2} \times h \quad (\text{Ec. C15})$$

Se reemplaza la Ec. C14 en C15 y se suman los términos semejantes, dando lugar a la Ec. C16,

$$A_T = \frac{0,74 + 2h \times \frac{\text{sen } 40^\circ}{\text{sen } 50^\circ}}{2} \times h \quad (\text{Ec. C16})$$

Por último, se modifica la Ec. C16 considerando el promedio del nivel del agua presentado durante la jornada obteniendo la expresión final para el cálculo del área transversal en el canal de drenaje de PTA,

$$A_T = \frac{2 \left( \frac{h1 + h2 + h3 + \dots + h12}{12} \right) \times \frac{\text{sen } 40^\circ}{\text{sen } 50^\circ} + 0,74}{2} \times \left( \frac{h1 + h2 + h3 + \dots + h12}{12} \right) \quad (\text{Ec. C17})$$

### **Caudal:**

La Ec. C18 representa la fórmula empleada para la determinación del caudal del primer sistema de aforo.

$$Q = VmT \times A_T \quad (\text{Ec. C18})$$

- **Segundo sistema de aforo de caudal**

Este sistema fue implementado para la cuantificación de condensados de los silos de secado de almendra (3 silos en total) utilizando una caja de lámina metálica de acero al carbón 1/8" con dimensiones 0,67 m x 0,20 m x 0,225 m (figura C3) como recipiente para contener el volumen

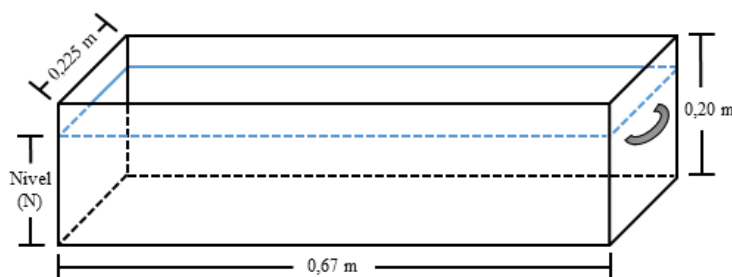
captado durante un tiempo estimado de 3 min, al que posteriormente se le tomó el dato de nivel (N) de condensados usando una regla metálica milimetrada, y complementando el cálculo del volumen con las dimensiones de la base de la caja (Ec. C19). El caudal fue cuantificado mediante la Ec. C25 que hace referencia al método volumétrico, sumando los condensados generados por los tres silos de secado de almendra. Por otra parte, la característica propia del material del recipiente estuvo sujeta en primer lugar a la resistencia térmica debido a la presencia de condensados, y en segundo lugar a la disponibilidad de material de la planta para su diseño.

### Materiales e instrumentos:

- Caja de lámina metálica con dimensiones 0,67 m (largo) x 0,20 m (alto) x 0,225 m (ancho)
- Cronometro
- Regla metálica milimetrada (30 cm)
- Hoja de registro de datos

### Figura C3

*Caja y sus respectivas dimensiones para la cuantificación de condensados de silos de almendra.*



Teniendo en cuenta que el volumen de condensado es,

$$V = 0,67 \times 0,225 \times N \quad (\text{Ec. C19})$$

Y considerante que,

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. C20})$$

Se reemplaza la Ec. C19 en C20 para obtener la expresión que permite cuantificar el caudal de condensados,

$$Q = \frac{0,67 \times 0,225 \times N}{t} \quad (\text{Ec. C21})$$

Modificando la Ec. C21 para ajustarla a los datos de la jornada da como resultado a las siguientes ecuaciones,

$$Q1 = \frac{0,67 \times 0,225 \times (N1 + N4 + N7 + N10)}{t1 + t4 + t7 + t10} \quad (\text{Ec. C22})$$

$$Q2 = \frac{0,67 \times 0,225 \times (N2 + N5 + N8 + N11)}{t2 + t5 + t8 + t11} \quad (\text{Ec. C23})$$

$$Q3 = \frac{0,67 \times 0,225 \times (N3 + N6 + N9 + N12)}{t3 + t6 + t9 + t12} \quad (\text{Ec. C24})$$

Siendo Q1, Q2 y Q3 los caudales de los silos de secado 1, 2 y 3 respectivamente. Los diferentes números de N corresponden al nivel registrado para las cuatro tomas, y t es el tiempo de llenado.

Finalmente, la Ec. C25 es la sumatoria de los caudales de condensados de los silos de secado,

$$Q_T = Q1 + Q2 + Q3 \quad (\text{Ec. C25})$$

- **Tercer sistema de aforo de caudal**

El tercer sistema de aforo de caudal permitió determinar las cantidades para los condensados de Bomba de vacío, Tanque sedimentador, Tanque pulmón de lodos, Turbina, Purgas

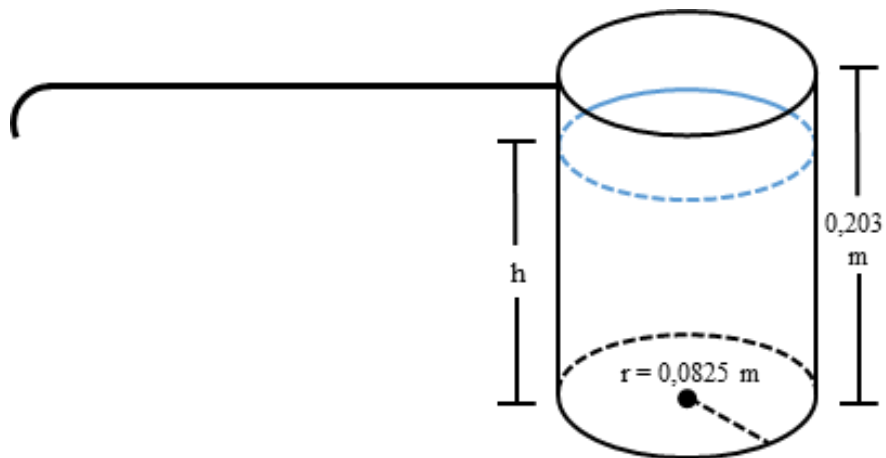
del distribuidor de vapor y Agua de enfriamiento de turbina, cuyo montaje consiste en un recipiente cilíndrico de galón adaptado a una varilla metálica (figura C4) utilizada como sostén para la estructura, y para evitar la exposición al calor por la temperatura de los condensados. En primera instancia se halló el volumen contenido en el sistema haciendo uso de la regla metálica milimetrada para medir el nivel (h), valor que luego fue considerado en la Ec. C29 junto con el tiempo de llenado y de esta manera establecer el caudal.

#### **Materiales e instrumentos:**

- Recipiente cilíndrico de galón (tarro de aluminio de pintura)
- Cronometro
- Regla metálica milimetrada
- Hoja de registro de datos

#### **Figura C4**

*Características del sistema utilizado para la cuantificación de condensados de Bomba de vacío, Tanque sedimentador, Tanque pulmón de lodos, Turbina y Purgas del distribuidor de vapor.*



Dado que el volumen de un cilindro es,

$$V = \pi r^2 \times h \quad (\text{Ec. C26})$$

Y conociendo que el caudal está determinado por,

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. C27})$$

Se sustituye la Ec. C26 en C27 para dejar expresado el caudal en términos de (h) y (t),

$$Q = \frac{\pi r^2 \times h}{t} \quad (\text{Ec. C28})$$

Replanteando la Ec. C28 se obtiene la ecuación final para el cálculo del caudal.

$$Q = \frac{\pi r^2 \times (h1 + h2 + h3 + h4)}{t1 + t2 + t3 + t4} \quad (\text{Ec. C29})$$





**Tabla D3***Caracterización de CPFER en ELG.*

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS								
Punto Localizado	pH	SDT (ppm)	Turbidez (NTU)	Dureza (ppm)	Alc (ppm)	Cond (µS/cm)	Color (UPC)	T (°C)
Condensados silos de almendra	7,16	13	1,14	0	3	27	10	90
Condensados bomba de vacío	6,85	187	21,92	31	54	371	172	50
Purgas de caldera	10,71	477	8,98	2	90	988	44	85
Agua de enfriamiento de turbina	7,93	146	3,90	34	60	316	8	30
Condensados de clarificación	7,05	14	2,35	0	11	28	18	90
Condensados TK sedimentador	6,21	13	1,41	2	4	25	6	54
Purga del distribuidor de vapor	8,40	40	8,68	4	10	79	29	52
Filtros de arena	7,77	193	5,75	36	48	333	33	25
Suavizadores	7,88	517	1,42	45	30	1028	10	25
Condensados de turbina	6,30	14	4,22	4	4	28	15	84
Condensados TK pulmón de almacenamiento de lodos	7,08	14	7,84	3	5	26	27	90
Purga de TK de agua caliente - condensados silo de nuez	7,18	56	3,65	18	33	115	15	82

*Nota.* SDT: Sólidos disueltos totales; Alc: Alcalinidad; Cond: Conductividad.

#### **Tabla D4**

*Cuantificación de CPFER en ELG.*

<b>PUNTO</b>	<b>m<sup>3</sup>/día</b>
Condensados silos de almendra	35,27
Condensados bomba de vacío	25,12
Purgas de caldera	30,17
Agua de enfriamiento de turbina	24,24
Condensados de clarificación	15
Condensados TK sedimentador	0,75
Purga del distribuidor de vapor	0,33
Filtros de arena	74,95
Suavizadores	60,2
Condensados de turbina	0,51
Condensados TK pulmón de almacenamiento de lodos	0,6
Purga de TK de agua caliente - condensados silo de nuez	25
<b>TOTAL</b>	<b>292,14</b>

**Tabla D5***Potencial de aprovechamiento de corrientes CPFER.*

<b>PUNTO</b>	<b>m<sup>3</sup> Promedio 1° semestre del año</b>	<b>m<sup>3</sup> Promedio 2° semestre del año</b>	<b>m<sup>3</sup> Total año</b>	<b>m<sup>3</sup> a 15 años</b>
Condensados silos de almendra	5.291,04	3.809,55	9.100,59	136.508,83
Agua de enfriamiento de turbina	3.636,00	2.617,92	6.253,92	93.808,80
Condensados de clarificación	2.250,00	1.650,00	3.900,00	58.500,00
Condensados TK sedimentador	113,21	81,51	194,73	2.920,92
Purga del distribuidor de vapor	48,91	35,22	84,13	1.261,89
Condensados de turbina	77,04	55,47	132,51	1.987,63
Condensados TK pulmón de almacenamiento de lodos	89,76	64,63	154,39	2.315,81
Purga de TK de agua caliente - condensados silo de nuez	3.750,00	2.700,00	6.450,00	96.750,00
<b>TOTAL</b>	<b>15.255,96</b>	<b>11.014,30</b>	<b>26.270,27</b>	<b>394.053,88</b>

*Nota.* Los metros cúbicos del primer semestre difieren de las cantidades generadas durante la segunda mitad del año debido a los requerimientos de agua por cosecha alta y baja de fruto. En promedio para la primera mitad la Planta suele trabajar 25 días al mes, mientras que para el segundo semestre los días de funcionamientos disminuyen a 18.

### Tabla D6

*Historial de agua de la planta ELG últimos 3 años.*

<i>ACUMULADOS PONDERADOS 2020</i>				
<i>Meses</i>	<i>m<sup>3</sup> Cruda/RFF</i>	<i>m<sup>3</sup> Filtrada/RFF</i>	<i>m<sup>3</sup> Permeada/RFF</i>	<i>Fruto Proc(TON)</i>
<b>1</b>	0,94	0,46	0,48	15.261,799
<b>2</b>	1,06	0,52	0,54	17.994,827
<b>3</b>	1,24	0,88	0,42	19.286,081
<b>4</b>	1,08	0,59	0,54	17.144,920
<b>5</b>	1,35	0,71	0,74	12.347,568
<b>6</b>	1,41	0,78	0,75	11.599,062
<b>7</b>	1,31	0,72	0,74	12.374,020
<b>8</b>	1,42	0,93	0,49	5.454,700
<b>9</b>	1,26	0,79	0,47	13.131,284
<b>10</b>	1,45	0,86	0,59	10.992,774
<b>11</b>	1,36	0,82	0,54	9.480,783
<b>12</b>	1,30	0,79	0,51	9.332,640
	<i>1,23</i>	<i>0,71</i>	<i>0,52</i>	<i>154.400,458</i>
<i>ACUMULADOS PONDERADOS 2021</i>				
<i>Meses</i>	<i>m<sup>3</sup> Cruda/RFF</i>	<i>m<sup>3</sup> Filtrada/RFF</i>	<i>m<sup>3</sup> Permeada/RFF</i>	<i>Fruto Proc(TON)</i>
<b>1</b>	1,58	1,09	0,49	12.906,395
<b>2</b>	1,29	0,87	0,42	14.367,012
<b>3</b>	1,26	0,72	0,54	19.094,865
<b>4</b>	1,11	0,60	0,51	20.031,840
<b>5</b>	1,03	0,57	0,45	17.643,969
<b>6</b>	1,00	0,58	0,41	17.887,453
<b>7</b>	1,04	0,64	0,40	15.938,604
<b>8</b>	1,36	0,82	0,54	11.947,745
<b>9</b>	1,10	0,67	0,43	14.314,341
<b>10</b>	1,01	0,59	0,42	12.846,581
<b>11</b>	1,16	0,72	0,44	11.503,483
<b>12</b>	1,26	0,71	0,54	12.987,237
	<i>1,17</i>	<i>0,70</i>	<i>0,47</i>	<i>181.469,525</i>
<i>ACUMULADOS PONDERADOS 2022</i>				

<i>Meses</i>	<i>m<sup>3</sup> Cruda/RFF</i>	<i>m<sup>3</sup> Filtrada/RFF</i>	<i>m<sup>3</sup> Permeada/RFF</i>	<i>Fruto Proc(TON)</i>
<b>1</b>	1,21	0,67	0,54	16.836,090
<b>2</b>	1,16	0,67	0,50	18.301,403
<b>3</b>	0,95	0,51	0,44	24.006,383
<b>4</b>	0,87	0,47	0,39	9.447,430
	<b>1,06</b>	<b>0,59</b>	<b>0,47</b>	<b>68.591,306</b>

*Nota.* Proc: Procesado; TON: Tonelada. Adaptado de *Indicador consumo de agua*, Extractora La Gloria, 2022.

**Tabla D7**

*Inversión operativa por mantenimiento y consumo energético vs tiempo.*

<b>Año</b>	<b>SISTEMA 1</b>			<b>SISTEMA 2</b>		
	<b>Consumo Energético</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Total</b>	<b>Consumo Energético</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Total</b>
<b>2024</b>	\$ 1.517.500	\$ 890.536	\$ 2.408.036	\$ 1.639.598	\$ 843.016	\$ 2.482.614
<b>2025</b>	\$ 1.587.153	\$ 931.412	\$ 2.518.565	\$ 1.714.856	\$ 881.711	\$ 2.596.566
<b>2026</b>	\$ 1.660.004	\$ 974.164	\$ 2.634.167	\$ 1.793.567	\$ 922.181	\$ 2.715.749
<b>2027</b>	\$ 1.736.198	\$ 1.018.878	\$ 2.755.075	\$ 1.875.892	\$ 964.509	\$ 2.840.401
<b>2028</b>	\$ 1.815.889	\$ 1.065.644	\$ 2.881.533	\$ 1.961.996	\$ 1.008.780	\$ 2.970.776
<b>2029</b>	\$ 1.899.239	\$ 1.114.557	\$ 3.013.796	\$ 2.052.051	\$ 1.055.083	\$ 3.107.134
<b>2030</b>	\$ 1.986.414	\$ 1.165.715	\$ 3.152.129	\$ 2.146.240	\$ 1.103.512	\$ 3.249.752
<b>2031</b>	\$ 2.077.590	\$ 1.219.222	\$ 3.296.812	\$ 2.244.753	\$ 1.154.163	\$ 3.398.916
<b>2032</b>	\$ 2.172.951	\$ 1.275.184	\$ 3.448.135	\$ 2.347.787	\$ 1.207.139	\$ 3.554.926
<b>2033</b>	\$ 2.272.690	\$ 1.333.715	\$ 3.606.405	\$ 2.455.550	\$ 1.262.546	\$ 3.718.097
<b>2034</b>	\$ 2.377.006	\$ 1.394.933	\$ 3.771.939	\$ 2.568.260	\$ 1.320.497	\$ 3.888.757
<b>2035</b>	\$ 2.486.111	\$ 1.458.960	\$ 3.945.071	\$ 2.686.143	\$ 1.381.108	\$ 4.067.251
<b>2036</b>	\$ 2.600.223	\$ 1.525.926	\$ 4.126.150	\$ 2.809.437	\$ 1.444.501	\$ 4.253.938
<b>2037</b>	\$ 2.719.574	\$ 1.595.966	\$ 4.315.540	\$ 2.938.390	\$ 1.510.804	\$ 4.449.194
<b>2038</b>	\$ 2.844.402	\$ 1.669.221	\$ 4.513.623	\$ 3.073.263	\$ 1.580.150	\$ 4.653.412
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 31.752.943</b>	<b>\$ 18.634.033</b>	<b>\$ 50.386.976</b>	<b>\$ 34.307.784</b>	<b>\$ 17.639.700</b>	<b>\$ 51.947.484</b>

*Nota.* El consumo energético se calculó considerando la potencia de la bomba (Hp), las horas de operación anual del equipo, y el costo de consumo de energía por KW/h para la industria colombiana (269,51 COP).

**Tabla D8***Proyecciones de los precios por tratamiento de agua.*

<b>Año</b>	<b>Inflación %</b>	<b>m3 Agua Filtrada \$</b>	<b>m3 Agua Permeada \$</b>
2024	4,59	372	659
2025	4,59	389	689
2026	4,59	407	721
2027	4,59	426	754
2028	4,59	446	788
2029	4,59	466	825
2030	4,59	487	863
2031	4,59	510	902
2032	4,59	533	944
2033	4,59	558	987
2034	4,59	583	1.032
2035	4,59	610	1.079
2036	4,59	638	1.129
2037	4,59	667	1.181
2038	4,59	698	1.235

**Tabla D9***Proyecciones de ahorros económicos generados por el sistema 1.*

<b>Año</b>	<b>Agua Permeada no tratada</b>	<b>Agua Filtrada no tratada</b>	<b>Total año</b>
2024	\$ 10.819.417	\$ 3.658.244	\$ 14.477.662
2025	\$ 11.316.028	\$ 3.826.158	\$ 15.142.186
2026	\$ 11.835.434	\$ 4.001.778	\$ 15.837.213
2027	\$ 12.378.681	\$ 4.185.460	\$ 16.564.141
2028	\$ 12.946.862	\$ 4.377.573	\$ 17.324.435
2029	\$ 13.541.123	\$ 4.578.503	\$ 18.119.626
2030	\$ 14.162.660	\$ 4.788.657	\$ 18.951.317
2031	\$ 14.812.727	\$ 5.008.456	\$ 19.821.183
2032	\$ 15.492.631	\$ 5.238.344	\$ 20.730.975
2033	\$ 16.203.742	\$ 5.478.784	\$ 21.682.527
2034	\$ 16.947.494	\$ 5.730.260	\$ 22.677.755
2035	\$ 17.725.384	\$ 5.993.279	\$ 23.718.663
2036	\$ 18.538.979	\$ 6.268.371	\$ 24.807.350
2037	\$ 19.389.919	\$ 6.556.089	\$ 25.946.008
2038	\$ 20.279.916	\$ 6.857.013	\$ 27.136.929
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 226.390.997</b>	<b>\$ 76.546.971</b>	<b>\$ 302.937.968</b>

*Nota.* Los valores finales de la tabla D8 se multiplicaron por los m<sup>3</sup> anuales de CPFER reingresados como agua Filtrada (6.471 m<sup>3</sup>) y agua de alimentación a Caldera (16.420 m<sup>3</sup>) para el cálculo del ahorro.

### Tabla D10

*Proyecciones de ahorros económicos generados por el sistema 2.*

<b>Año</b>	<b>Agua Filtrada no tratada</b>
<b>2024</b>	\$ 9.772.074
<b>2025</b>	\$ 10.220.612
<b>2026</b>	\$ 10.689.738
<b>2027</b>	\$ 11.180.397
<b>2028</b>	\$ 11.693.577
<b>2029</b>	\$ 12.230.312
<b>2030</b>	\$ 12.791.684
<b>2031</b>	\$ 13.378.822
<b>2032</b>	\$ 13.992.910
<b>2033</b>	\$ 14.635.185
<b>2034</b>	\$ 15.306.940
<b>2035</b>	\$ 16.009.528
<b>2036</b>	\$ 16.744.365
<b>2037</b>	\$ 17.512.932
<b>2038</b>	\$ 18.316.775
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 204.475.852</b>

*Nota.* Los valores finales de la tabla D8 se multiplicaron por los m<sup>3</sup> anuales de CPFER reingresados como agua Filtrada (26.245 m<sup>3</sup>) para el cálculo del ahorro.

*Apéndice E. Descripción del proceso de extracción de aceite de palma.*

- **Extracción aceite crudo de palma (CPO)**

**Recepción y tolva.** El proceso de extracción de aceite crudo de palma comienza en la zona de recepción, donde los vehículos de carga pasan a través de una báscula para determinar la cantidad de fruto que ingresa al proceso. El cálculo se define por diferencia de peso del vehículo que debe regresar a báscula una vez haya descargado su contenido en tolva.

**Esterilización.** El fruto depositado en tolva es conducido, mediante un transportador de cadena, a una autoclave en la zona de esterilización. Lo que se busca en esta etapa por medio de la acción de vapor es principalmente la inactivación de la enzima lipasa que es la responsable de la producción acelerada de los ácidos grasos libres (AGL), y que influye en el incremento de la acidez del CPO. En segundo lugar, se pretende ablandar el tejido de la pulpa (mesocarpio) que facilite el rompimiento de las celdas que contienen el aceite durante las etapas de digestión y prensado. Otros de los objetivos son: debilitar el soporte natural entre el raquis y el fruto para favorecer el proceso de desfrutado, y deshidratar la almendra que se encuentra adherida a la nuez para su posterior recuperación y obtención de aceite crudo de palmiste (CPKO). Esta es una de las etapas que mayores efluentes genera, ya que se consume en promedio el 40% del vapor generado en caldera; quiere decir que para una planta con capacidad de procesamiento de 35 - 38 toneladas RFF/h como lo es Extractora La Gloria S.A.S. se utilizan para la etapa de esterilización alrededor de 14 ton de vapor/h.

**Desfrutado.** Los racimos que salen del esterilizador son llevados al tambor desfrutador para desgranar la tusa (raquis) por movimiento rotatorio y golpe en caída libre. El fruto

desprendido es trasladado a los digestores, y la tusa es procesada en prensa de raquis con el fin de recuperar algún aceite impregnado. El desecho resultante es aprovechado generalmente como abono de cultivos.

**Digestión.** En esta etapa se realiza la maceración del fruto dentro de un cilindro vertical llamado digestor que consta de unas paletas giratorias que logran impactar las fibras que contienen el aceite en la estructura del mesocarpio generando un rompimiento. La inyección de vapor en esta fase es importante para mantener la temperatura de operación entre 95 y 100°C, y para suavizar la maceración.

**Prensado.** En este punto del proceso se busca la extracción máxima de CPO haciendo uso de las prensas de doble tornillo sinfín. Aquí es implementado un sistema de inyección de agua para evitar taponamiento del equipo, causando indirectamente una dilución en la mezcla. De las prensas sale el licor rumbo al tanque de dilución donde se fija dicho parámetro para continuar con la obtención del CPO; aunque en literatura suele trabajarse con una dilución de 1,4 (% volumen aceite / % volumen agua), en la empresa Extractora La Gloria se ha determinado un rango de operación óptimo de dilución entre 1,5 y 1,9. Por otra parte, el componente sólido (fibra y nueces) pasa a una columna de separación neumática donde la nuez luego es enviada a la sección de palmisteria, y la fibra es conducida a la caldera como combustible.

**Tamizado.** Una vez diluida la mezcla, es descargada en los tamices vibratorios de doble malla (30 y 40 *mesh*) para retirar algunos fragmentos de fibra y otros sólidos de tamaño superior a las mallas.

**Clarificación continua.** El proceso de extracción sigue su curso con la etapa de clarificación donde toda la mezcla es llevada a un tanque clarificador (tanque rectangular) con un

tiempo de residencia de aproximadamente 3 o 4 horas. Unos serpentines de calentamiento por vapor mantienen la temperatura de operación entre 90 – 95°C, mientras que la dilución aplicada en el tanque de dilución (antes del tamizado) complementa el proceso de separación del aceite respecto del agua, lodos livianos, y lodos pesados. Ambas condiciones de operación juegan un papel importante en la eficiencia de la separación del CPO.

**Secado al vacío.** Antes de llegar al secador al vacío, el aceite que sale del clarificador es transportado a un tanque sedimentador, donde se mantiene a una temperatura entre 90 – 95°C, retirando los sólidos suspendidos remanentes de la clarificación continua. Finalmente, el aceite ingresa al secador con algo de humedad que debe ser eliminada mediante una presión de vacío entre -25 y -30 mm Hg y una temperatura de operación de 70 – 80°C. El aceite CPO terminado es bombeado a un tanque de almacenamiento, donde queda disponible para despacho.

**Tratamiento de aguas lodosas:** Las aguas lodosas, que son el precipitado del tanque de clarificación, contienen una fracción de aceite que no ha podido separarse todavía. Esta mezcla es llevada a unos ciclones desarenadores para retirar los sólidos pesados, y luego se pasa a través de unos filtros cepillos donde se retiene la mayor parte de los sólidos livianos. Por último, las aguas lodosas son sometidas a centrifugación, recuperando aceite que posteriormente es reintegrado al proceso en el clarificador. La temperatura de los lodos aceitosos debe mantenerse entre 95 y 98°C para asegurar la efectividad de la etapa, y evitar posibles daños en la centrifuga por conversión de vapor del líquido saturado (agua).

- **Extracción aceite crudo de palmiste (CPKO)**

**Secado de nueces.** Las nueces provenientes de la columna de separación neumática atraviesan un tambor pulidor, desprendiendo las fibras que hayan quedado adheridas a las nueces. Luego, estas fibras son llevadas a los silos de secado, en donde la cáscara es deshidratada para facilitar el proceso de trituración.

**Trituración.** Las nueces son alimentadas a un tambor clasificador por tamaños, que cuenta con cuatro secciones perforadas, seleccionando las nueces en grandes, medianas, y pequeñas. Cada tipo de nuez ingresa al triturador *ripple mill* según su tamaño para mayor efectividad de la trituración. De este proceso se obtiene almendra y cascarilla; la almendra es enviada a un silo de secado, mientras que la cascarilla es almacenada para ser usada como combustible en la caldera.

**Secado de almendra.** La almendra es secada para evitar, en primer lugar, el enmohecimiento de la misma y, en segundo lugar, para reducir los niveles de acidez del aceite obtenido. Cabe resaltar que, tanto en los silos de secado de almendras como en los silos de secado de nueces se generan condensados de vapor de calentamiento que actualmente en ELG no son reintegrados al proceso, sino que son dispuestos en el sistema de drenaje.



**Prensado.** Para extraer el aceite de palmiste, la almendra es dirigida a las prensas monotornillo tipo *expeller*, que, además de ello, constan de un cono de ajuste para determinar el área de paso y fijar la presión de extracción. De la etapa se obtiene aceite turbio que luego es enviado a un tanque de agitación mecánica para homogeneizar la mezcla; por otra parte, se obtiene la torta de palmiste que finalmente se lleva a un molino de martillo para ser pulverizada, después almacenada y vendida como complemento alimenticio para animales.



**Tamizado.** El aceite procedente del tanque de agitación mecánica atraviesa un tamiz con especificaciones de malla 40 *mesh* para retirar los sólidos más grandes que puedan obstaculizar el



proceso de filtrado. El sólido retenido es reprocesado en las prensas para minimizar las pérdidas, mientras que el aceite que traspasa el tamiz se lleva a un segundo tanque de agitación llamado de “aceite tamizado”.



**Filtrado.** La etapa final del proceso de extracción del CPKO es efectuada en un filtro de hojas múltiples o de capas de material filtrante, el cual retiene la suspensión de partículas de la mezcla y genera un aceite de mejor calidad. La torta resultante (sólido graso o “chocolatina”) es reprocesada en las prensas, y el aceite final es almacenado en el tanque de aceite CPKO.



## Apéndice F. Hojas de seguridad de sustancias utilizadas en la caracterización de CPFER.

 <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> <b>REACTIVO 1 INDICADOR 1</b> Versión: 02	
<b>SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO</b>	
Identificador SGA del producto	Reactivo 1 Indicador 1
Otros medios de identificación	No aplica.
Uso recomendado del producto químico y sus restricciones	Solución Hidroalcohólica de fenoltaleína para la determinación de alcalinidad
Datos sobre el proveedor	CHEMICAL COACHING SERVICES SAS Terminal logístico Valle del Pacífico Bodega 268 Yumbo- Valle Teléfono: 695 7190 www.chemicalcoaching.com
Número del teléfono para Emergencias	Cisproquim - Línea nacional 018000916012- Bogotá (1) 2884367
<b>SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS</b>	
Clasificación de la sustancia o mezcla	Clasificación de acuerdo al SGA: -Líquido y vapores muy inflamables, Categoría 2, H225 -Carcinógeno, Categoría 1B, H350 -Mutagénico, Categoría 2, H341
Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia	Pictograma SGA  Palabra de advertencia: Peligro  Indicaciones de peligro: -H225 Líquido y vapores muy inflamables. -H350 Puede provocar cáncer. -H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos.  Consejos de prudencia: -P201 Pedir instrucciones especiales antes del uso. -P202 No manipular la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las instrucciones de seguridad. -P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. -P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado.
Otros peligros que no conducen a una clasificación	No disponible.
<b>SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>	
Mezclas	Ingredientes peligrosos de acuerdo con el SGA:  Identidad química de la sustancia: Etanol Nombre común, sinónimos de la sustancia: Etanol Número CAS: 64-17-5 Clasificación de peligro: H225 Líquido y vapores muy inflamables. H319 Provoca irritación ocular grave Concentración: <99,0 %  Identidad química de la sustancia: Fenoltaleína Nombre común, sinónimos de la sustancia: Fenoltaleína Número CAS: 77-09-8 Clasificación de peligro: H350 Puede provocar cáncer. H361F Se sospecha que perjudica a la fertilidad. H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos. Concentración: <= 1,0 %
<b>SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS</b>	
Descripción de los primeros auxilios necesarios	Inhalación: Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico. Ingestión: Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico. Contacto con la piel: Quite la ropa contaminada. Limpie el material de la piel. Enjuague el área afectada con abundante agua durante 15 minutos. Si persiste la irritación, repita el lavado y consulte a un médico. Contacto con los ojos: Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.
Síntomas/ efectos más importantes, agudos o retardados	No disponible.
Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de tratamiento especial	No disponible.
<b>SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>	
Medios de extinción apropiados	Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.
Peligros específicos del producto químico	Inflamable. Mantener alejado de fuentes de ignición. Los vapores son más pesados que el aire, por lo que pueden desplazarse a nivel del suelo. Puede formar mezclas explosivas con aire.
Medidas especiales que deben tomar los equipos de lucha contra incendios	Lleve puesto un aparato respiratorio autónomo aprobado. Evite respirar los vapores del agua que fluye.

 <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> <b>REACTIVO 2 TITULANTE</b> Versión: 02	
<b>SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO</b>	
Identificador SGA del producto	Reactivo 2 Titulante
Otros medios de identificación	No aplica.
Uso recomendado del producto químico y sus restricciones	Solución valorante de ácido sulfúrico para la determinación de alcalinidad
Datos sobre el proveedor	<b>CHEMICAL COACHING SERVICES SAS</b> Terminal logístico Valle del Pacífico Bodega 268 Yumbo- Valle Teléfono: 695 7190 www.chemicoaching.com
Número del teléfono para Emergencias	Cisproquim - Línea nacional 01 8000916012- Bogotá (1) 2884367
<b>SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS</b>	
Clasificación de la sustancia o mezcla	<b>Clasificación de acuerdo al SGA:</b> -Corrosivo para los metales, Categoría 1, H290 -Irritante cutáneo, Categoría 2, H315 -Irritante Ocular, Categoría 2, H319
Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia	<b>Pictograma SGA</b>  <b>Palabra de advertencia:</b> Peligro <b>Indicaciones de peligro:</b> -H290 Puede ser corrosivo para los metales. -H315 Causa irritación cutánea. -H319 Causa seria irritación ocular. <b>Consejos de prudencia:</b> -P302 + P352 – EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes -P305 + P351 + P338 – EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando
Otros peligros que no conducen a una clasificación	No disponible.
<b>SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>	
Mezclas	<b>Ingredientes peligrosos de acuerdo con el SGA:</b> <b>Identidad química de la sustancia:</b> Ácido Sulfúrico <b>Nombre común, sinónimos de la sustancia:</b> Ácido Sulfúrico <b>Número CAS:</b> 7664-93-9 <b>Clasificación de peligro:</b> H290: Corrosivo para los metales, categoría 1. H314: Corrosivo cutáneo, categoría 1A. <b>Concentración:</b> <0,5 %
<b>SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS</b>	
Descripción de los primeros auxilios necesarios	<b>Inhalación:</b> Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico. <b>Ingestión:</b> Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico. <b>Contacto con la piel:</b> Quite la ropa contaminada. Limpe el material de la piel. Enjuague el área afectada con abundante agua durante 15 minutos. Si persiste la irritación, repita el lavado y consulte a un médico. <b>Contacto con los ojos:</b> Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.
Síntomas/ efectos más importantes, agudos o retardados	No disponible.
Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de tratamiento especial	No disponible.
<b>SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>	
Medios de extinción apropiados	Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.
Peligros específicos del producto químico	Efecto irritante
Medidas especiales que deben tomar los equipos de lucha contra incendios	Lleve puesto un aparato respiratorio autónomo aprobado. Evite respirar los vapores del agua que fluye.
Condiciones que conducen a otro riesgo especial	No disponible.
<b>SECCIÓN 6: MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>	
Precauciones personales, equipo protector y procedimiento de emergencia	Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, las nieblas o el gas. Evacue el área y restrinja el acceso. Equipo de protección individual, ver sección 8.
Precauciones relativas al medio ambiente	Prevenir la contaminación del suelo, aguas y desagües

 <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> <b>REACTIVO 3 INDICADOR 2</b> Versión: 02	
<b>SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO</b>	
Identificador SGA del producto	Reactivo 3 Indicador 2
Otros medios de identificación	No aplica.
Uso recomendado del producto químico y sus restricciones	Solución indicadora para la determinación de alcalinidad
Datos sobre el proveedor	<b>CHEMICAL COACHING SERVICES SAS</b> Terminal logístico Valle del Pacífico Bodega 268 Yumbo- Valle Teléfono: 695 7190 <a href="http://www.chemicoaching.com">www.chemicoaching.com</a>
Número del teléfono para Emergencias	Cisproquim - Línea nacional 018000916012- Bogotá (1) 2884367
<b>SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELGROS</b>	
Clasificación de la sustancia o mezcla	<b>Clasificación de acuerdo al SGA:</b> -Líquido Inflamable, Categoría 2, H225
Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia	<b>Pictograma SGA</b>  <b>Palabra de advertencia:</b> Peligro <b>Indicaciones de peligro:</b> -H225 Líquidos y vapores muy inflamables <b>Consejos de prudencia:</b> -P210 Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar. -P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado.
Otros peligros que no conducen a una clasificación	No disponible.
<b>SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>	
Mezclas	<b>Ingredientes peligrosos de acuerdo con el SGA:</b>  <b>Identidad química de la sustancia:</b> Isopropanol <b>Nombre común, sinónimos de la sustancia:</b> Isopropanol, 2-Propanol <b>Número CAS:</b> 67-63-0 <b>Clasificación de peligro:</b> Líquido Inflamable, Categoría 2, H225 Irritación ocular, Categoría 2, H319 Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única, Categoría 3, H336 <b>Concentración:</b> > 90,0 %
<b>SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS</b>	
Descripción de los primeros auxilios necesarios	<b>Inhalación:</b> Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico. <b>Ingestión:</b> Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico. <b>Contacto con la piel:</b> Quite la ropa contaminada. Limpie el material de la piel. Enjuague el área afectada con abundante agua durante 15 minutos. Si persiste la irritación, repita el lavado y consulte a un médico. <b>Contacto con los ojos:</b> Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.
Síntomas/ efectos más importantes, agudos o retardados	efectos irritantes, Dolor de cabeza, sueño, parálisis respiratoria, Somnolencia, Vértigo, borrachera
Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de tratamiento especial	No disponible.
<b>SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>	
Medios de extinción apropiados	Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.
Peligros específicos del producto químico	Inflamable. Prestar atención al retorno de la llama. Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo. En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos. Son posibles mezclas explosivas con el aire a temperaturas normales.
Medidas especiales que deben tomar los equipos de lucha contra incendios	Lleve puesto un aparato respiratorio autónomo aprobado. Evite respirar los vapores del agua que fluye.
Condiciones que conducen a otro riesgo especial	No disponible.
<b>SECCIÓN 6: MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>	
Precauciones personales, equipo protector y procedimiento de emergencia	Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, las nieblas o el gas. Evacue el área y restrinja el acceso. Equipo de protección individual, ver sección 8.
Precauciones relativas al medio ambiente	Prevenir la contaminación del suelo, aguas y desagües

 <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> <b>REACTIVO 4 TITULANTE 1</b> Versión: 02	
SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
Identificador SGA del producto	Reactivo 4 Titulante 1
Otros medios de identificación	No aplica.
Uso recomendado del producto químico y sus restricciones	Solución Titulante para determinación de dureza
Datos sobre el proveedor	<b>CHEMICAL COACHING SERVICES SAS</b> Terminal logístico Valle del Pacífico Bodega 268 Yumbo- Valle Teléfono: 695 7190 <a href="http://www.chemicalcoaching.com">www.chemicalcoaching.com</a>
Número del teléfono para Emergencias	Cisproquim - Línea nacional 018000916012- Bogotá (1) 2884367
SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS	
Clasificación de la sustancia o mezcla	Clasificación de acuerdo al SGA: -Iritación ocular, Categoría 2, H319
Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia	<b>Pictograma SGA</b>  <b>Palabra de advertencia:</b> Peligro <b>Indicaciones de peligro:</b> H319 Provoca irritación ocular grave. <b>Consejos de prudencia:</b> P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
Otros peligros que no conducen a una clasificación	No disponible.
SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES	
Mezclas	<b>Ingredientes peligrosos de acuerdo con el SGA:</b> <b>Identidad química de la sustancia:</b> Ácido etilendinitrotetraacético, sal disódica <b>Nombre común, sinónimos de la sustancia:</b> EDTA <b>Número CAS:</b> 139-33-3 <b>Clasificación de peligro:</b> Toxicidad aguda, Categoría 4, H332. Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas, Categoría 2, H373 <b>Concentración:</b> <0,5 %
SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS	
Descripción de los primeros auxilios necesarios	<b>Inhalación:</b> Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico. <b>Ingestión:</b> Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico. <b>Contacto con la piel:</b> Quite la ropa contaminada. Limpie el material de la piel. Enjuague el área afectada con abundante agua durante 15 minutos. Si persiste la irritación, repita el lavado y consulte a un médico. <b>Contacto con los ojos:</b> Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.
Síntomas/ efectos más importantes, agudos o retardados	Efectos irritantes, dolores de estómago, Náusea, Vómitos
Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de tratamiento especial	No disponible.
SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS	
Medios de extinción apropiados	Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.
Peligros específicos del producto químico	No combustible. Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno. El fuego puede provocar emanaciones de: óxidos de nitrógeno
Medidas especiales que deben tomar los equipos de lucha contra incendios	Lleve puesto un aparato respiratorio autónomo aprobado. Evite respirar los vapores del agua que fluye.
Condiciones que conducen a otro riesgo especial	No disponible.
SECCIÓN 6: MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL	
Precauciones personales, equipo protector y procedimiento de emergencia	Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, las neblinas o el gas. Evacue el área y restrinja el acceso. Equipo de protección individual, ver sección 8.
Precauciones relativas al medio ambiente	Prevenir la contaminación del suelo, aguas y desagües
Métodos y materiales para la contención y limpieza de vertidos	Absorber con materiales inertes, colocar en recipientes apropiados para su eliminación

 <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> <b>REACTIVO 3 INDICADOR 2</b> Versión: 02	
<b>SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO</b>	
Identificador SGA del producto	Reactivo 3 Indicador 2
Otros medios de identificación	No aplica.
Uso recomendado del producto químico y sus restricciones	Indicador líquido para determinación de dureza
Datos sobre el proveedor	<b>CHEMICAL COACHING SERVICES SAS</b> Terminal logístico Valle del Pacífico Bodega 268 Yumbo- Valle Teléfono: 695 7190 www.chemicalcoaching.com
Número del teléfono para Emergencias	Cisproquim - Línea nacional 018000916012- Bogotá (1) 2884367
<b>SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS</b>	
Clasificación de la sustancia o mezcla	<b>Clasificación de acuerdo al SGA:</b> -Líquido Inflamable, Categoría 2, H225 -Lesión Ocular grave Categoría 2, H319
Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia	<b>Pictograma SGA</b>  <b>Palabra de advertencia:</b> Peligro  <b>Indicaciones de peligro:</b> H225 Líquido y vapores muy inflamables H319 Provoca irritación ocular grave <b>Consejos de prudencia:</b> P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado. P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
Otros peligros que no conducen a una clasificación	No disponible.
<b>SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>	
Mezclas	<b>Ingredientes peligrosos de acuerdo con el SGA:</b>  <b>Identidad química de la sustancia:</b> Etanol <b>Nombre común, sinónimos de la sustancia:</b> Etanol <b>Número CAS:</b> 64-17-5 <b>Clasificación de peligro:</b> Líquido y vapores muy inflamables, Categoría 2, H225 <b>Concentración:</b> >20,0 - <30,0 %  <b>Identidad química de la sustancia:</b> Negro de Eriocromo T <b>Nombre común, sinónimos de la sustancia:</b> Negro de Eriocromo T <b>Número CAS:</b> 1787-61-7 <b>Clasificación de peligro:</b> Irritación ocular, Categoría 2, H319. <b>Concentración:</b> >0,0 - <1,0 %
<b>SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS</b>	
Descripción de los primeros auxilios necesarios	<b>Inhalación:</b> Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.  <b>Ingestión:</b> Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.  <b>Contacto con la piel:</b> Quite la ropa contaminada. Limpie el material de la piel. Enjuague el área afectada con abundante agua durante 15 minutos. Si persiste la irritación, repita el lavado y consulte a un médico.  <b>Contacto con los ojos:</b> Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.
Síntomas/ efectos más importantes, agudos o retardados	Irritación, Vértigo, Dolor abdominal, Náuseas, Vómitos, Narcosis, Dificultades respiratorias
Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de tratamiento especial	No disponible.

	<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL</b>  <b>US 109</b>
---	---

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA Y DEL PRODUCTO

Nombre del producto:	US 109
Descripción del producto:	Solución buffer pH 10.5 para durezas
Usos:	Producto químico para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.
Proveedor:	Useche y Cía. Ltda.
Dirección y números de teléfono:	Calle 82 # 44 – 55. Tel: (5)3596640 - 3596637.
Fecha de preparación de la MSDS	Barranquilla 16 de noviembre, 2012

### 2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

Ingredientes	CAS #	% Peso
Cloruro de Amonio	12125-02-9	Aprox. 7
Hidroxido de Amonio	1336-21-6	Aprox. 57
Agua Destilada	7732-18-5	Aprox. 36

### 3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA

HMIS	
<b>H</b>	3
<b>F</b>	2
<b>R</b>	1
<b>PPE</b>	H

**Contacto ocular:** Produce irritación severa, enrojecimiento, lagrimeo y comezón en los ojos. Puede producir lesiones severas y daños en los tejidos.

**Contacto con la piel:** Produce irritación. Se absorbe por la piel, por lo que puede ser peligroso. Puede producir quemaduras.

**Inhalación:** Produce irritación pulmonar severa y daños en los tejidos pulmonares. La inhalación de las neblinas ocasiona irritación severa al tracto respiratorio superior, acompañada de tos, dificultad respiratoria e infecciones bronquiales.

**Carcinogenicidad:** No disponible.

**Mutagenicidad:** No disponible.

**Teratogenicidad:** No disponible.

 <p>USECHE S.A. CIA. LTDA.</p>	<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL</b>  <b>US 109</b>
---	---

#### 4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

**Contacto ocular:** Retire los lentes de contacto, en caso de que los haya. Enjuague inmediatamente con abundante agua fría durante 15 minutos con los párpados abiertos. Busque atención médica.

**Contacto con la piel:** Enjuague el área afectada con abundante agua. Cubra la piel irritada con un emoliente. Retire la ropa y los zapatos contaminados; lávelos cuidadosamente antes de volver a utilizarlos. En caso de contacto severo, lave con jabón desinfectante y cubra el área afectada con una crema antibacterial. Busque atención médica.

**Inhalación:** Retírese al aire fresco. Si no respira, administre respiración artificial. Si presenta dificultad respiratoria, administre oxígeno. Busque atención médica inmediata.

**Ingestión:** No induzca el vómito, a menos que así lo solicite el médico. Nunca suministre nada oralmente a una persona inconsciente. Suelte cualquier prenda ajustada. Busque atención médica.

#### 5. MEDIDAS DE EXTINCIÓN DEL FUEGO

**Inflamabilidad:** Combustible.

**Temperatura de autoignición:** 410°C (770°F)

**Puntos de ignición:** Recipiente cerrado: 86°C (186.8°F). Recipiente abierto: 93.34°C (200°F). Cleveland.

**Límites de inflamabilidad:** Superior: 23.5%; Inferior: 3%.

**Productos de la combustión:** Óxidos de carbono y nitrógeno.

**Riesgos de incendio en presencia de distintas sustancias:** Inflamable en presencia de llamas abiertas, chispas y calor.

**Instrucciones y medios de extinción de incendios:** Químico seco en polvo para incendios pequeños. Para incendios grandes, utilice rocío, niebla o espuma de agua. No utilice chorros de agua.

**Riesgos de incendio y explosión:** No disponible.

#### 6. MEDIDAS DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

**Derrames pequeños:** Diluya con agua y recoja con un trapero, o absorba con un material inerte seco y deposite en el contenedor adecuado para su eliminación. Si es necesario, neutralice el residual con una solución diluida de ácido acético.

**Derrames grandes:** Mantenga alejado de fuentes de calor e ignición. Detenga la fuga si no hay riesgos. Absorba con tierra seca, arena u otro material no combustible. No vierta agua dentro del contenedor. No toque el material derramado. Utilice rocío para reducir el vapor formado. Contenga el derrame para evitar el ingreso en alcantarillas, cuerpos de agua y espacios confinados. Canalice si es necesario. Neutralice con una solución diluida de ácido acético.



## 7. ALMACENAMIENTO Y MANEJO

**Precauciones:** Mantenga seco el contenedor. Aleje de fuentes de calor e ignición, y sustancias incompatibles. El material debe estar puesto en tierra. No ingiera. Evite la inhalación de gases, vapores, rocíos, nieblas. No adicione agua a este producto. Utilice el equipo de protección personal adecuado. En caso de ventilación insuficiente, utilice el aparato de respiración adecuado. En caso de ingestión, busque atención médica inmediata y muestre la etiqueta del recipiente. Evite el contacto con los ojos y la piel.

**Almacenamiento:** Mantenga en un contenedor herméticamente cerrado, en un lugar fresco, seco y bien ventilado. Evite las fuentes de calor e ignición. Es sensible a la luz; almacene en contenedores resistentes a la luz.

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

**Controles de ingeniería:** Proporcione la ventilación exhaustiva y demás controles de ingeniería para mantener las concentraciones del vapor de la sustancia en el aire por debajo de los límites permitidos. Asegúrese de que las instalaciones cuentan con duchas de seguridad y lavaojos.

**Equipo de protección personal:** Escudo facial, overol, respirador certificado o aprobado, guantes y botas. En caso de derrames grandes, utilice además, un aparato de respiración autónoma.

## 9. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

**Estado físico:** Líquido.

**Color:** Incoloro.

**Olor:** Amoniacal.

**pH:** 10 en solución acuosa al 1%.

**Temperatura de ebullición:** 170.8°C (339.4°F).

**Temperatura de fusión:** 10.3°C (50.5°F).

**Gravedad específica:** 1.018 (Agua=1).

**Presión de vapor:** 0.1 kPa a 20°C.

**Densidad de vapor:** 2.1 (Aire=1)

**Solubilidad en agua:** Miscible.

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Estabilidad:** Este producto es estable en condiciones normales.

**Condiciones a evitar:** Materiales incompatibles, calor, fuentes de ignición, luz y humedad.

**Incompatibilidades:** Agentes oxidantes, ácidos. Altamente corrosivo con aluminio y cobre.

 <p>USECHE &amp; CIA LTDA</p>	<p align="center"><b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL</b></p> <p align="center"><b>US 109</b></p>
--	--

### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

**Toxicidad:** No disponible.

### 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

**Ecotoxicidad:** No disponible.

**DBO, DQO:** No disponible.

**Productos por biodegradación:** Se pueden producir productos por degradación a largo plazo, aún más tóxicos que el material mismo.

### 13. CONSIDERACIONES DE ELIMINACIÓN

Elimine de acuerdo con las leyes federales, gubernamentales y locales vigentes.

### 14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

**Clasificación:** No disponible.

**Nombre de envío:** No disponible.

### 15. INFORMACIÓN REGULATORIA

- No disponible.

**Apéndice G.** Equipos utilizados en el trabajo.**Figura G1**

*Combo pH & EC waterproof by Hanna Instruments.*

**Figura G2**

*Termómetro Bimetálico Rockage.*



**Figura G3**

HI-93703 *Portable Turbidity Meter by Hanna Instruments.*

**Figura G4**

*Kit de prueba para Alcalinidad.*



**Figura G5**

*Kit de prueba para Dureza.*



**Figura G6**

*Checker UPC color of wáter by Hanna Instruments.*



**Figura G7**

*Checker ppm silica HR by Hanna Instruments.*

