

Evaluación operativa y desarrollo de un manual de operación y mantenimiento para el sistema de tratamiento de agua en la industria de extracción de aceite de palma y palmiste

Willian Gualdron Lizarazo

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director

Luz Marina Ballesteros Rueda

Ingeniera Química

Ph.D. Electroquímica ciencia y tecnología

Codirector

Didier Aleisso Gutierrez Lozano

Ingeniero Químico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres, Elizabeth Lizarazo y Willian Gualdron, gracias a ellos por siempre brindarme el apoyo genuino y lleno de amor para siempre luchar por mis sueños, dándome las herramientas necesarias para formarme como una persona ejemplar. A mis hermanos, por creer en mí y darme motivación y esperanza cada vez que tenía un obstáculo. A mí pareja Maria Jose, su amor incondicional ha sido esencial para superarme día a día y llevar a cabo mis objetivos. A mí tía Eugenia, quien lastimosamente dejó este plano terrenal, gracias por tus consejos y tu apoyo en momentos críticos de mi vida, por hacerme reflexionar y reír a pesar de las adversidades.

-Willian Gualdron

Agradecimientos

A la empresa Extractora Monterrey y al ingeniero Didier por darme la oportunidad de demostrar mis habilidades y conocimientos en diferentes labores. A los compañeros de laboratorio, Yeison y Jordi por los conocimientos compartidos y ayuda en mi pasantía. A Jorge de Chemicoaching, quien me enseñó el manejo de las plantas de tratamiento de agua industrial. A la Profesora Luz Marina por su orientación.

Tabla de contenido

Introducción.....	9
1.Objetivos.....	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2. Marco referencial.....	12
2.1 Fuentes de agua	12
2.2 Dureza.....	13
2.3 Alcalinidad.....	13
2.4 pH	14
2.5 Sílice	14
2.6 Sulfitos.....	15
2.7 Conductividad.....	15
2.8 Corrosión	15
2.9 Incrustación	16
2.10 Secuestrantes de oxígeno.....	16
2.11 Clarificador.....	16
2.12 Filtros.....	17
2.13 Suavizador	17
2.14 Desilizador.....	18
3. Metodología.....	18
3.1. Identificación de puntos críticos en el sistema de tratamiento de agua mediante análisis del desempeño de la planta.	19
3.1.1. Análisis del agua cruda (salida del pozo)	19
3.1.2. Análisis de entrada y salida de cada equipo	19
3.1.3 Análisis de purgas en la caldera.	20
3.2. Elaboración de un manual de operación y mantenimiento.....	20
3.2.1. Objetivo y alcance	21
3.2.2. Principales equipos	21
3.2.3. Resumen del proceso.....	21
3.2.4. Parámetros de calidad del agua	21

3.2.5. Procedimientos esenciales	21
4.Resultados.....	22
4.1. Identificación de puntos críticos en el sistema de tratamiento de agua mediante análisis del desempeño de la planta	22
4.1.1. Análisis del agua cruda (salida del pozo)	22
4.1.2. Análisis de entrada y salida de cada equipo	25
4.1.3. Análisis purgas de caldera.	30
4.2. Elaboración de un manual de operación y mantenimiento	33
4.2.1. Objetivo y alcance	33
4.2.3. Resumen del proceso	39
4.2.4. Parámetros de calidad del agua	40
4.2.5. Procedimientos esenciales	41
5.Conclusiones.....	45
Referencias bibliográficas	46
Apéndices	47

Lista de figuras

Figura 1. Variación del pH del agua cruda respecto al tiempo.....	22
Figura 2. Variación de la dureza del agua cruda respecto al tiempo	23
Figura 3. Variación de hierro en el agua cruda respecto al tiempo.	24
Figura 4. Variación de sílice en el agua cruda respecto al tiempo.	24
Figura 5. Variación de hierro en la salida del clarificador y eficiencia en remoción del hierro durante el tiempo.....	26
Figura 6. Variación de hierro en la salida del filtro durante el tiempo.....	28
Figura 7. Variación de la dureza en la salida del suavizador durante el tiempo.	28
Figura 8. Variación de la sílice en la salida del desilizador durante el tiempo.	30
Figura 9. Sílice en la purga de la caldera.....	31
Figura 10. Hierro en la purga de la caldera	31
Figura 11. Sulfitos en la purga de la caldera	32
Figura 12. Fosfatos en la purga de la caldera.	33
Figura 13. Fotografía torre de aireación	34
Figura 14. Fotografía clarificador.....	35
Figura 15. Fotografía filtros.....	35
Figura 16. Fotografía suavizadores	36
Figura 17. Fotografía desilizador.....	37
Figura 18. Fotografía tanque de almacenamiento de agua purificada.....	38
Figura 19. Fotografía tanque de agua de emergencia.....	38
Figura 20. Diagrama general del proceso Part 1 y Part 2.....	39

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros necesarios para agua de alimentación.....	41
Tabla 2. Parámetros necesarios para agua de purga de caldera.....	41
Tabla 3. Ficha plan puesta en marcha de la planta	42
Tabla 4. Ficha puntos de análisis y cuales realizar.....	43
Tabla 5. Ficha seguimiento a actividades.....	44

Lista de apéndices

Apéndice A. Manual de Operación y Mantenimiento.....	47
Apéndice B. Diagrama del proceso.....	78

Resumen

TITULO: EVALUACIÓN OPERATIVA Y DESARROLLO DE UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA GENERACIÓN DE VAPOR EN LA INDUSTRIA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA Y PALMISTE

AUTOR: WILLIAN GUALDRON LIZARAZO

PALABRAS CLAVE: CALDERA, AGUA CRUDA, MANTENIMIENTO, TRATAMIENTO DE AGUA, SILICE, HIERRO, DUREZA.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia en la operación del sistema de tratamiento de agua para generación de vapor en la Extractora Monterrey S.A., con el fin de desarrollar un manual de operación y mantenimiento que estandarice su funcionamiento. Se llevó a cabo un análisis estructurado del desempeño de la planta donde se consideró la calidad del agua cruda, la eficiencia de cada equipo y el impacto de las purgas en la caldera. Los resultados nos permitieron evidenciar que el agua cruda presenta altos niveles de dureza, hierro y sílice lo que hace necesario un tratamiento estricto para evitar incrustaciones y corrosión en la caldera. Se evidenció que la regeneración oportuna de los suavizadores y desilizadores es clave para mantener los parámetros del agua dentro de los valores óptimos. Además, el análisis de las purgas en la caldera indicó que, aunque los niveles de hierro están controlados los valores de sílice en la purga suelen superar los límites recomendados, lo que sugiere la necesidad de ajustes en la frecuencia de purga para optimizar la eficiencia del sistema, sin embargo se evidencia en la purga presencia de sulfitos y fosfatos indicando que aunque las purgas no sean suficientes, los químicos inyectados a la entrada de la caldera pueden estar ejerciendo un control para evitar la formación de precipitantes de sílice. Finalmente, el desarrollo del manual de operación y mantenimiento proporciona una guía estandarizada para la correcta gestión del tratamiento de agua, asegurando un funcionamiento eficiente y prolongando la utilidad de los equipos.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

Director:LuzMarina Ballesteros , Ph.D. electroquímica ciencia y tecnología. Codirector: Didier Aleisso Gutierrez Lozano, Ingeniero Químico PhD

ABSTRACT

TITLE: OPERATIVE EVALUATION AND DEVELOPMENT OF AN OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL FOR THE WATER TREATMENT SYSTEM FOR STEAM GENERATION IN THE PALM AND PALM KERNEL OIL EXTRACTION INDUSTRY

AUTHOR: WILLIAN GUALDRON LIZARAZO

KEYWORDS: BOILER, RAW WATER, MAINTENANCE, WATER TREATMENT, SILICA, IRON, HARDNESS

DESCRIPTION:

The objective of this work was to evaluate the efficiency of the water treatment system for steam generation at Extractora Monterrey S.A., in order to develop an operation and maintenance manual to standardize its functioning. A structured analysis of the plant's performance was carried out, considering raw water quality, the efficiency of each piece of equipment, and the impact of boiler blowdowns. The results showed that the raw water contains high levels of hardness, iron, and silica, making strict treatment necessary to prevent scaling and corrosion in the boiler. Timely regeneration of softeners and silica removers proved to be key to keeping water parameters within optimal values. Additionally, the analysis of boiler blowdowns indicated that while iron levels are under control, silica levels often exceed recommended limits, suggesting the need for adjustments in blowdown frequency to optimize system efficiency. However, the presence of sulfites and phosphates in the blowdown suggests that, although blowdowns may be insufficient, the chemicals injected at the boiler inlet may be helping to control silica precipitate formation. Finally, the development of the operation and maintenance manual provides a standardized guide for proper water treatment management, ensuring efficient operation and extending equipment lifespan.

* Bachelor Thesis.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

Director: Luz Marina Ballesteros, Ph.D. electroquímica ciencia y tecnología. Codirector: Didier Aleisso Gutierrez Lozano, Ingeniero Químico PhD

Introducción

La extracción de aceite de palma es un proceso que involucra múltiples etapas de las cuales algunas requieren el uso de vapor. Dos de los procesos más importantes son la esterilización y la clarificación del aceite (Kumaradevan et al., 2015). Durante la esterilización el vapor caliente se utiliza para tratar los racimos de fruta permitiendo el ablandamiento de la unión entre las frutas y el racimo de esta forma se eliminan microorganismos y se facilita la separación del mesocarpio en el proceso de prensado (Pakdeechot et al., 2020). La esterilización es esencial, ya que una esterilización inadecuada puede llevar a una mayor contaminación del producto y a una calidad inferior del aceite (Pakdeechot et al., 2020). Asimismo, en el proceso de clarificación el vapor es esencial para eliminar humedad e impurezas asegurando que el aceite crudo sea adecuado para su posterior refinación (Emara et al., 2016). Por lo tanto, la generación de vapor de calidad es crucial para el funcionamiento eficiente de la planta.

El tratamiento del agua de caldera es esencial ya que el agua extraída de pozos naturales puede contener impurezas y minerales que comprometen el rendimiento y la durabilidad del sistema (Arnulfo Oelker Behn, 2010). Aunque esta fuente puede parecer una opción económica a menudo presenta desafíos por la presencia de metales pesados y otros contaminantes que al acumularse pueden generar problemas graves en la operación de la caldera (Zoraime Méndez Santana, 2020). La corrosión es una de las principales preocupaciones; el agua con altos niveles de oxígeno y sólidos disueltos puede dañar las superficies internas de las calderas, acortando su vida útil y aumentando los costos de mantenimiento. Además, la formación de escamas debido a minerales como el calcio y el

magnesio puede obstruir los tubos de la caldera, reduciendo la eficiencia térmica y afectando la producción de vapor (Duniesky Pérez Acosta, 2011; Arnulfo Oelker Behn, 2010).

Las consecuencias de un mal tratamiento del agua de caldera pueden generar grandes consecuencias a nivel de producción. La falla de la caldera puede causar paradas inesperadas en la producción afectando la rentabilidad de la empresa. Por ello, un tratamiento adecuado del agua es fundamental para garantizar la eficiencia operativa y la calidad del producto final. Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el sistema de tratamiento de agua para calderas en la extractora Monterrey S.A., ubicada en Puerto Wilches, Santander, la cual produce aceite de palma y palmiste. Debido a la importancia de la generación de vapor en el proceso de producción de estos productos se busca elaborar un manual de operación y mantenimiento que ayude a mejorar el buen funcionamiento del tratamiento de agua para generación de vapor disminuyendo los riesgos operativos del proceso. Por ello surge la pregunta de investigación ¿Cuál es la eficiencia operativa del tratamiento de agua para generación de vapor en la Extractora Monterrey S.A. y cómo estandarizar su operación y mantenimiento?

1.Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia operativa del sistema de tratamiento de agua para generación de vapor utilizado en el proceso de extracción de aceite de palma y palmiste, para el desarrollo de un manual que estandarice su operación y mantenimiento en la empresa Extractora Monterrey S.A.

1.2 Objetivos específicos

Identificar los puntos críticos que afectan la eficiencia del tratamiento de agua para la generación de vapor en el proceso de extracción de aceite de palma y palmiste mediante el análisis del desempeño del sistema de tratamiento de agua.

Desarrollar un manual de operación y mantenimiento que estandarice las prácticas necesarias para asegurar el funcionamiento eficiente y prolongado del sistema de tratamiento de agua en la planta.

2. Marco referencial

Este trabajo de investigación se realizó en la extractora Monterrey S.A., ubicada en Puerto Wilches, Santander. La empresa procesa el fruto de racimo fresco, producido por la palma de aceite, para obtener aceite de palma (CPO) y procesa almendra (contenido al interior de los frutos) para obtener el aceite de palmiste (PKO). La planta CPO cuenta con una capacidad para procesar 28 toneladas por hora de racimos de fruta fresca y la planta PKO procesa 3,5 toneladas por hora de almendra, algunos de los procesos que se dan en la planta son: recepción de fruto, esterilización, desfrutado, digestión, prensado, clarificación, desfibrado, palmistería, secado y almacenamiento.

2.1 Fuentes de agua

En general, el agua utilizada para generar vapor en calderas y en diversos procesos industriales proviene de fuentes naturales como ríos, pozos y lagos. Sin embargo, debido a la naturaleza de estas fuentes, es inevitable que el agua arrastre y disuelva impurezas que la hacen inapta tanto para el consumo humano como para su uso en la industria (Pedro Abarca Bahamondes, 2013). Aunque esta agua pueda parecer cristalina, en realidad contiene una gran cantidad de sólidos disueltos. Las impurezas más comunes en estas fuentes incluyen sólidos suspendidos, colorantes, bacterias y otros microorganismos, sustancias semi-coloidales, gases disueltos y sales minerales (como cationes, aniones y sílice) (Arnulfo Oelker Behn, 2010). Por eso, es fundamental tratar adecuadamente esta agua para evitar problemas como la corrosión, incrustaciones, ensuciamiento y contaminación en las calderas (Arnulfo Oelker Behn, 2010).

2.2 Dureza

La dureza del agua está determinada por la cantidad de sales de calcio y magnesio que contenga. Mientras más sales de calcio y magnesio tengan, mayor será su dureza. La dureza es una característica perjudicial para las calderas (Pedro Abarca Bahamondes, 2013), para procesos de generación de vapor se necesita que la dureza del agua sea lo más baja posible, dado que el calcio y el magnesio llegan a favorecer la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera, esto pasa debido a que las altas temperaturas hacen que la solubilidad de carbonatos de calcio y magnesio disminuyan haciendo que estos precipiten en la superficie de los tubos del intercambio de calor, ocasionando pérdidas de energías en el sistema (Arnulfo Oelker Behn, 2010). Según la norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) la dureza total en el agua para alimentación de caldera debe ser < 2 ppm, para la disminución de dureza en agua se ha implementado suavizadores que realizan intercambio de cationes.

2.3 Alcalinidad

Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua (Arnulfo Oelker Behn, 2010) La alcalinidad en el agua de pozo está dada por los minerales disueltos en ella, según José & Charcopa (2013), cuando el pH del agua es superior a 10.5 se manifiesta un valor muy alto de alcalinidad que no es recomendable en el agua de alimentación de calderas, ya que esto trae como consecuencia la formación de espumas y alta cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en el vapor, el mismo que provoca corrosión en las tuberías de vapor y condensado. Según la norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) la alcalinidad total CaCO_3

(alcalinidad M) debe ser < 700 ppm en las calderas; sin embargo (Pedro Abarca Bahamondes, 2013) afirma que la alcalinidad M no deben superar los 800 ppm de carbonato de calcio. Según José & Charcopa (2013) el mantener una alcalinidad de sodio adecuada permite la prevención de la formación de incrustaciones provocadas por la sílice ya que esta se mantiene en solución.

2.4 pH

El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH). Según la norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) el pH a 25°C debe estar en un rango entre 10.5 y 11 en las calderas, lo que concuerda con Pedro Abarca Bahamondes, n.d.) quien recomienda que el pH del agua de caldera sea superior a 7 (agua neutra o alcalina) y, en lo posible, superior a 10,5 y menor a 12. Un pH por debajo de 9, puede aumentar el riesgo de corrosión en las superficies metálicas de la caldera, y un pH muy alto por encima de 12 puede generar incrustaciones en el interior de la caldera. Para el agua de la alimentación la Norma Británica BS-2486 establece un pH adecuado entre 8.5 y 9.5.

2.5 Sílice

En el agua la sílice puede estar en diferentes formas, ya sea como; sílice disuelta, en suspensión y como partícula coloidal (José & Charcopa, 2013). La sílice no puede ser eliminada por procesos convencionales como clarificación y filtración, resultando indeseable en el agua de alimentación de calderas, ya que puede formar una incrustación muy densa y dura que provoca serias pérdidas de eficiencia en la caldera, sobrecalentamiento del metal, fallas en tubos de la caldera y corrosión (Ana Laura Ortiz, 2011). La Norma Británica BS –

2486, la ABMA ((American Boiler Manufacturing Association, 1997) establece un valor de sílice (SiO_2) <150 ppm para evitar incrustaciones en la caldera.

2.6 Sulfitos

Los sulfitos son compuestos químicos utilizados frecuentemente en el agua de caldera como secuestrantes de oxígeno, tienen como función principal remover el oxígeno disuelto en agua, con la finalidad de disminuir la tendencia corrosiva que pueda tener el agua (José & Charcopa, 2013). El agua en la caldera debe ser de 15 a 40 ppm de sulfitos para tener una buena protección contra las oxidaciones (Pedro Abarca Bahamondes, 2013).

2.7 Conductividad

La conductividad permite determinar la cantidad de sólidos disueltos presentes en una muestra de agua, es decir que no mide la presencia de iones en forma particular, sino que constituye la concentración total de iones (José & Charcopa, 2013). La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua. Según la norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) establece un valor < 7000 uS/cm en la caldera.

2.8 Corrosión

Las principales fuentes de corrosión en calderas son la Corrosión por Oxígeno o “Pitting” y la Corrosión Cáustica (Arnulfo Oelker Behn, 2010). La corrosión por oxígeno consiste en la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera (en contacto con el agua), provocando su disolución o conversión en óxidos insolubles (José & Charcopa, 2013). La prevención de la corrosión por oxígeno se consigue mediante una adecuada desgasificación del agua de alimentación y la mantención de un

exceso de secuestrantes de oxígeno en el agua de la caldera (Arnulfo Oelker Behn, 2010). La corrosión cáustica ocurre cuando se acumulan de forma local grandes concentraciones de sales alcalinas, como la soda cáustica, en áreas de alta carga térmica, como el fogón o la cámara trasera de la caldera (Arnulfo Oelker Behn, 2010).

2.9 Incrustación

Las incrustaciones corresponden a depósitos de carbonatos, silicatos de calcio y magnesio, formados debido a una excesiva concentración de estos componentes en el agua de alimentación y/o regímenes de purga insuficientes (Arnulfo Oelker Behn, 2010). Estas incrustaciones forman depósitos duros muy adherentes, difíciles de remover. Según Pedro Abarca Bahamondes, las incrustaciones afectan la transferencia de calor al agua reduciendo la capacidad de la caldera, provocan recalentamiento de los tubos con el consiguiente peligro de deformaciones o roturas y restringen el paso del agua (calderas acuatubulares).

2.10 Secuestrantes de oxígeno

Los secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos (sulfitos, hidrazina, hidroquinona, etc.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua (Arnulfo Oelker Behn, 2010).

2.11 Clarificador

Según Parsons & Jefferson (2006) la clarificación del agua implica la eliminación de contaminantes a través de una sedimentación por gravedad simple o mediante procesos de contacto de sólidos que funcionan en una configuración de flujo descendente o ascendente. En el proceso de clarificación se implementa el uso de coagulantes y floculantes con la finalidad de mejorar la eliminación de las partículas en suspensión, existen diferentes tipos

de coagulantes como sulfato de aluminio o cloruro férrico que se encargan de desestabilizar las cargas de las partículas facilitando su unión, los floculantes como lo son algunos polímeros ayudan a la formación de flóculos más grandes y densos con la finalidad de mejorar su sedimentación. El objetivo de la clarificación es reducir la carga de sólidos en los procesos posteriores (filtros) y, de esta manera, aumentar la duración del ciclo de filtrado. El rendimiento del clarificador se puede medir por la turbidez del efluente del clarificador o por la observación visual del agua clarificada (Parsons & Jefferson, 2006).

2.12 Filtros

La filtración es un proceso físico que consiste en separar las partículas coloidales y suspendidas del agua al pasar el agua a través de un medio filtrante. A medida que las partículas contaminantes pasan al filtro, los espacios entre los granos del filtro se obstruyen, lo que reduce las aberturas. Algunos contaminantes se eliminan simplemente porque se depositan en un grano del medio filtrante. Otros se adsorben en la superficie de los granos individuales del filtro. A medida que las partículas penetran en el lecho filtrante, las aberturas se hacen más pequeñas y el lecho se obstruye, por lo que es necesario realizar retro lavados del mismo. Los medios filtrantes pueden estar compuestos de arena de sílice, arena verde, carbón antracita, carbón activado y muchos otros tipos de medios (Parsons & Jefferson, 2006)

2.13 Suavizador

Los suavizadores funcionan principalmente a través de un proceso llamado intercambio iónico o catiónico un proceso por medio del cual un sólido insoluble remueve iones de cargas positivas o negativas de una solución electrolítica y transfiere otros iones de carga similar a la disolución en una cantidad equivalente. Si los sólidos intercambian iones positivos (cationes) se denominan intercambiadores catiónicos e intercambiadores aniónicos

si intercambian iones negativos (aniones) (José & Charcopa, 2013). En este proceso el suavizador utiliza un lecho de resinas de zeolitas de sodio, estas contienen (iones de sodios Na^+), cuando el agua con una alta dureza pasa a través de las resinas los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), se intercambian por los iones de sodio (Duniesky Pérez Acosta, 2011), teniendo como resultado un agua con menos calcio, magnesio y más sodio, a medida que el suavizador se usa, el lecho de resinas se va cargando con los iones de calcio y magnesio atrapados, por lo que es necesario más adelante realizar un proceso de regeneración que tiene como finalidad reponer proporción normal de sodio en la zeolita para que se dé el ablandamiento normal, esto se lo logra removiendo los iones de calcio y magnesio de la superficie de la zeolita saturada mediante el uso de un lecho de cloruro de sodio (NaCl) en solución (José & Charcopa, 2013).

2.14 Desilizador

El desilizador es un filtro que ayuda a eliminar la sílice del agua usando un proceso llamado intercambio iónico. El agua pasa a través de una resina especial que atrapa la sílice y la reemplaza con otras partículas de carga similar. Esto mejora la calidad del agua siendo clave para sistemas como calderas y generación de vapor, evitando problemas por acumulación de sílice (CHEMICOACHING., 2002).

3. Metodología

Este trabajo se llevó a cabo en dos etapas. En la primera, se evaluó el desempeño inicial de la planta de tratamiento de agua esto considerando su funcionamiento antes y después de la intervención continua de un operario. En la segunda etapa, se elaboró un manual de operación y mantenimiento de la planta con el objetivo de garantizar su

funcionamiento dentro de los parámetros eficientes, asegurando así un buen rendimiento de la planta de tratamiento de agua para asegurar una mayor utilidad de la caldera.

3.1. Identificación de puntos críticos en el sistema de tratamiento de agua mediante análisis del desempeño de la planta.

Se evaluó el desempeño inicial de la planta de tratamiento de agua de la empresa *Extractora Monterrey S.A.*, ubicada en Puerto Wilches, Santander, comparando su funcionamiento antes y después de la intervención continua de un operario, de esta forma se identificaron las variables que afectaban la operación de cada equipo.

3.1.1. Análisis del agua cruda (salida del pozo)

Se realizó un estudio del agua proveniente del pozo que abastece la planta, con el objetivo de determinar la variabilidad de sus características en el tiempo. Se analizaron los parámetros clave que influyen en el tratamiento, estos son: pH, dureza, hierro y sílice, con la finalidad de identificar posibles cambios y su impacto en el proceso.

3.1.2. Análisis de entrada y salida de cada equipo

Se llevó a cabo un análisis de los datos durante un año para cada equipo, considerando que, desde abril de 2024, se implementó una intervención aún más continua del proceso con el fin de mejorar el funcionamiento de cada uno. De la misma forma se evaluó individualmente el desempeño de cada equipo de la planta, considerando los parámetros de salida y el porcentaje de remoción según su función específica. Esto permitió comparar el estado del sistema antes de la intervención continua y los efectos de la misma en la estabilidad del agua tratada. Para cuantificar la eficiencia de cada equipo, se aplicó la siguiente fórmula:

$$Eficiencia = \frac{C_{entrada} - C_{salida}}{C_{entrada}} \times 100$$

Donde:

- C entrada: la concentración del parámetro analizado en el agua de entrada.
- C salida: la concentración del mismo parámetro en el agua de salida.

Con la eficiencia calculada y teniendo en cuenta la intervención continua, se identificaron puntos claves en la operación.

3.1.3 Análisis de purgas en la caldera.

Se analizaron sílice, hierro, alcalinidad, fosfatos y sulfitos en el agua proveniente de la purga de la caldera, contrarrestando los valores con la Norma Británica (American Boiler Manufacturing Association, 1997) con la finalidad de analizar la variabilidad y la afectación de los parámetros en la caldera antes y después de la intervención continua en el proceso de tratamiento de agua.

3.2. Elaboración de un manual de operación y mantenimiento

Con base en el análisis del desempeño de la planta, se identificó la necesidad de estandarizar procedimientos de operación y mantenimiento. Para ello, se diseñó un manual que documenta las mejores prácticas, garantizando la estabilidad del sistema y la calidad del agua tratada. Se incluyeron descripción de cada equipo, un diagrama del proceso, instrucciones detalladas sobre el monitoreo de parámetros para cada equipo, que análisis hacer a la salida de cada equipo, los parámetros que deben tener el agua de alimentación y el agua de purga en la caldera, la frecuencia de mantenimiento de los equipos, que hacer en caso de emergencia, con el fin de prolongar la vida útil de los equipos y asegurar la eficiencia del proceso.

3.2.1. Objetivo y alcance

En esta etapa se definió el propósito del manual con base en las necesidades operativas de la planta de tratamiento de agua esto se hizo estableciendo los procedimientos clave para su correcto funcionamiento y mantenimiento.

3.2.2. Principales equipos

Se realizó un reconocimiento de cada uno de los equipos del proceso, describiendo sus funciones principales, y que impacto puede llegar a tener en la calidad del agua tratada.

3.2.3. Resumen del proceso

Se analizó el proceso de tratamiento de agua, identificando cada una de las etapas del proceso. Se representó mediante un diagrama de flujo, destacando las conexiones entre los equipos principales.

3.2.4. Parámetros de calidad del agua

Se recopilaron los parámetros clave para la operación eficiente del sistema, consolidando la información en una tabla de referencia basada en normativas según la Norma Británica, recomendaciones del fabricante y analizando los datos que se tienen de la operación de la planta desde tiempo atrás.

3.2.5. Procedimientos esenciales

Se identificaron los pasos necesarios para la puesta en marcha del sistema, el mantenimiento preventivo de los equipos y las acciones en caso de emergencia, organizándolos en tablas resumidas para facilitar su consulta.

4.Resultados

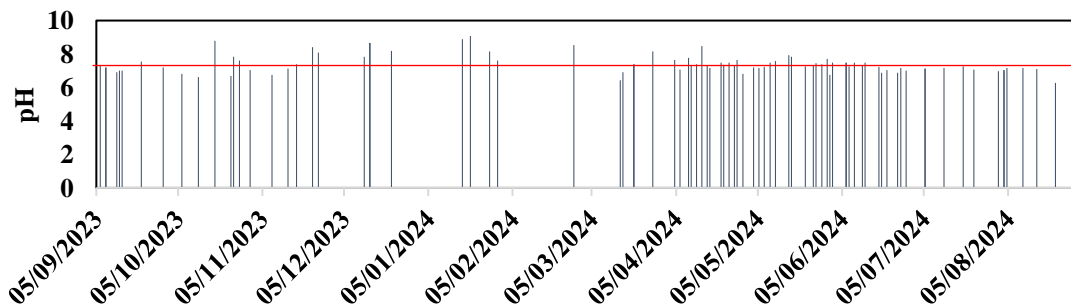
4.1. Identificación de puntos críticos en el sistema de tratamiento de agua mediante análisis del desempeño de la planta.

4.1.1. Análisis del agua cruda (salida del pozo)

En la figura 1 se presenta la variación del pH del agua proveniente del pozo (agua cruda) respecto al tiempo, se puede observar una variabilidad siendo el pH mínimo de 6.2 y un máximo de 8.4, estableciendo un promedio de pH 7.4. Según la norma británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) el pH del agua para la alimentación de la caldera debe estar en un rango entre 8.5 y 9.5. Esto demuestra que el agua salida del pozo debe tener un debido tratamiento con la finalidad de evitar daños como corrosión en el interior de la caldera.

Figura 1.

Variación del pH del agua cruda respecto al tiempo

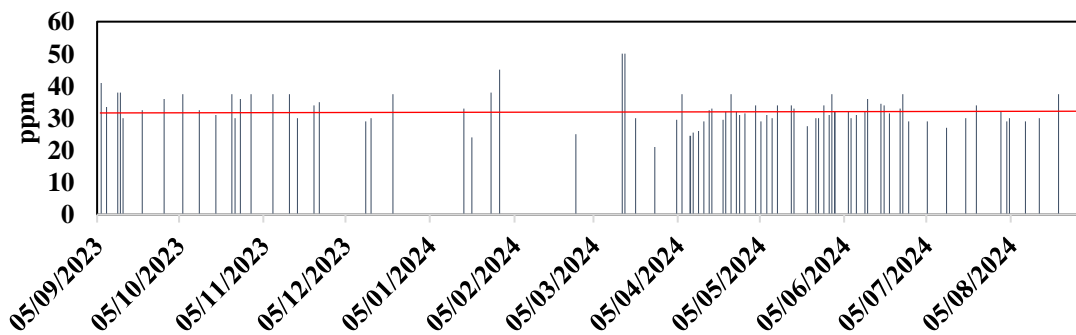


Uno de los parámetros más críticos e importantes dado a que puede causar incrustaciones en la caldera siendo muy difíciles de remover es la dureza, a altas temperaturas la solubilidad de carbonatos de calcio y magnesio disminuye haciendo que estos precipiten y se incrusten en los tubos de intercambio de calor de la caldera, disminuyendo la eficiencia de la caldera al obstaculizar el proceso de calentamiento (Arnulfo Oelker Behn, 2010). En la

figura 2 se puede observar la variabilidad de la dureza durante el tiempo, se puede observar un promedio de 32.85 ppm, estableciéndose como máximo 50 ppm y un mínimo de 20 ppm en relación al tiempo, para evitar incrustaciones en la caldera según la norma británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) la dureza del agua debe ser <2 ppm, en lo posible una dureza nula, el uso de esta agua cruda sin un tratamiento sería fatal para la generación de vapor en caldera, por lo que se requiere un tratamiento óptimo para una buena operación en la generación de vapor.

Figura 2.

Variación de la dureza del agua cruda respecto al tiempo

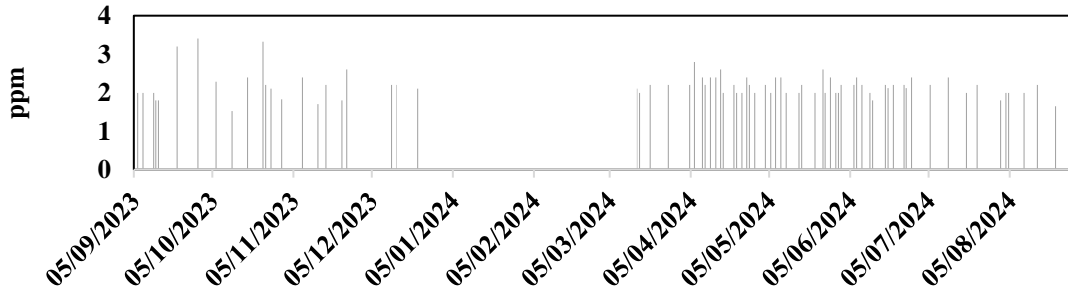


Otro parámetro clave para el monitoreo del agua de pozo es el hierro debido a que este puede contribuir a la corrosión en la caldera, cuando en el agua existe oxígeno disuelto este puede unirse con el hierro para formar óxidos de hierro insolubles que precipitan ocasionando corrosión y/o incrustaciones, según la norma británica BS-2486 (American Boiler Manufacturing Association, 1997) con la finalidad de evitar corrosión en calderas es necesario que el hierro sea menor a 0.1 ppm en el agua de alimentación. La figura 3 muestra la variación del hierro en el agua cruda proveniente del pozo durante el tiempo, en promedio el hierro es de 2.18 ppm, teniendo un máximo de 3.4 ppm y un mínimo de 1.5 ppm, lo que establece que el hierro que contiene el agua cruda no está dentro de los parámetros

establecidos para evitar daños en el interior de la caldera cuando suceda acumulación de este por lo que requiere de un tratamiento para disminuir su concentración.

Figura 3.

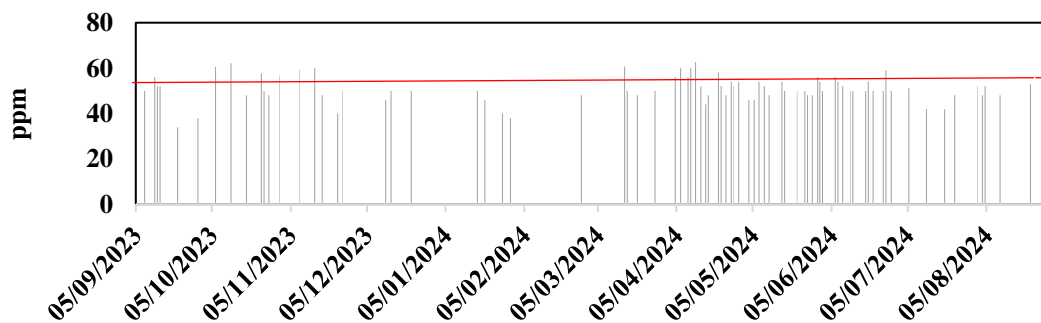
Variación de hierro en el agua cruda respecto al tiempo.



Según la norma británica BS-2486 (American Boiler Manufacturing Association, 1997) el valor de sílice en la caldera debe ser menor a 150 ppm, teniendo en cuenta el ciclo de concentración de caldera implementada, se indica que para evitar acumulación mayor a 150 ppm en la caldera, el agua de alimentación debe tener una concentración de sílice menor a 15 ppm, con la finalidad de evitar incrustaciones difíciles de remover y afectar el funcionamiento de la misma, en la figura 4 se observa la variabilidad de sílice en el agua cruda, en promedio se tiene 50.9 ppm de sílice, lo que indica que para evitar incrustaciones en la caldera es necesario realizar un tratamiento adecuado para poder llegar a disminuir la sílice disuelta a valores menores de 15 ppm.

Figura 4.

Variación de sílice en el agua cruda respecto al tiempo.



4.1.2. Análisis de entrada y salida de cada equipo

El sistema de tratamiento de agua para la alimentación de la caldera y generación de vapor está compuesto por seis equipos. Entre ellos, se encuentra una torre de aireación con anillos de Pall, cuya función es aumentar la disolución de oxígeno en el agua para favorecer la oxidación de compuestos como el hierro, facilitando su posterior eliminación en las siguientes etapas del tratamiento. Además, el sistema incluye un clarificador, dos filtros en paralelo, dos suavizadores (uno en operación y otro de respaldo) y dos desilizadores (también con un equipo en operación y otro en reserva). En este estudio, se realizará un análisis detallado de cada uno de estos equipos y su impacto en la eficiencia del sistema, evaluando cómo pueden influir en la viabilidad operativa de la caldera para la generación de vapor.

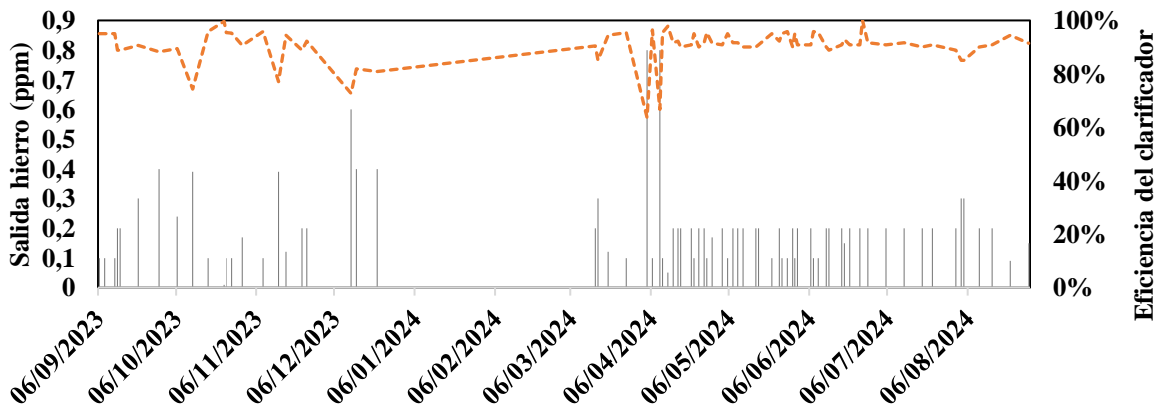
4.1.2.1. Clarificador

La clarificación contribuye a la eliminación de contaminantes a través de la sedimentación por gravedad o mediante procesos de contacto de sólidos (Parsons & Jefferson, 2006). Este proceso no está específicamente diseñado para eliminar hierro, sin embargo, favorece su remoción. El hierro puede llegar a encontrarse en forma de partículas suspendidas, como óxido de hierro, estas durante la clarificación se aglutinan debido a la coagulación y floculación. Estos flocúlos resultantes de la coagulación y floculación se

sedimentan hacia el fondo, facilitando su eliminación, por esto el análisis del clarificador se realizó en base a la remoción del hierro contenido en el agua cruda. El clarificador implementado por la empresa tiene un tiempo de retención de 60 min manejando una capacidad de flujo de 18 m³/h. En la figura 5 se puede observar la variación de la concentración de hierro en la salida del clarificador, así como la eficiencia de este.

Figura 5.

Variación de hierro en la salida del clarificador y eficiencia en remoción del hierro durante el tiempo.



Durante los primeros meses se puede observar en la figura 5 una inestabilidad en los niveles de hierro a la salida, en el tiempo de enero a mediados de marzo del 2024 no se presentan datos debido a que no se estaba realizando un mayor seguimiento. Sin embargo, a partir del mes de abril del año 2024 se observa una salida de hierro casi constante de 0,2 ppm. Esto es debido a la intervención periódica de un operario, quien realizaba la eliminación diaria de los lodos mediante drenaje para garantizar el buen funcionamiento del clarificador y evitar la acumulación de estos, al igual que un mantenimiento periódico mensual del clarificador. Además, se puede observar una eficiencia medida en termino de remoción de hierro alta durante los meses de intervención, valores que oscilan entre el 90% y el 95%, lo cual es característico de este tipo de clarificador (Parsons & Jefferson, 2006). Una

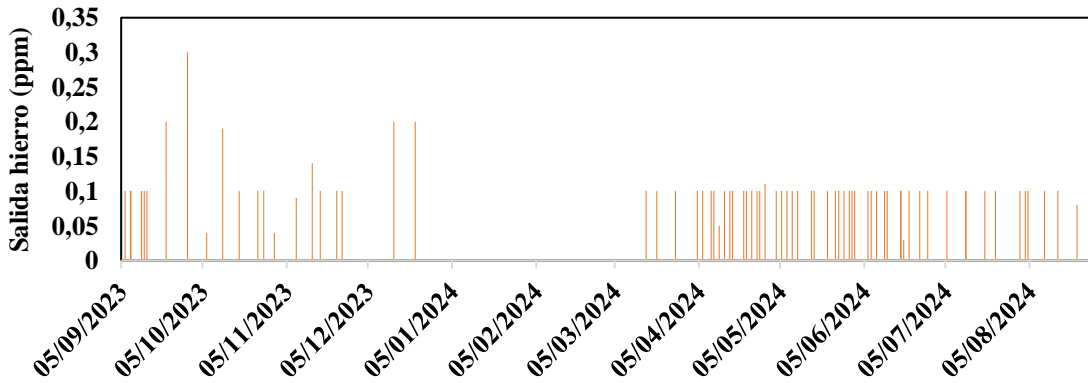
intervención periódica diaria de drenaje de lodos en el clarificador logra garantizar una buena remoción en términos de hierro en el clarificador, sin embargo, aún no cumple con el valor necesario <0.1 ppm para evitar corrosión en la caldera (American Boiler Manufacturing Association, 1997). Por consiguiente, es necesario otro equipo para la disminución de hierro en el agua como lo es un filtro.

4.1.2.2. Filtro

En la empresa los filtros empleados son filtros con arena de sílice los cuales funcionan mediante la retención física de las partículas y la utilización de la porosidad de la arena para atrapar impureza como el óxido de hierro, se tienen dos filtros ambos trabajan en paralelo con una capacidad de $18 \text{ m}^3/\text{h}$. En la figura 6 se observa la variación en la salida del filtro del hierro, en meses anteriores a abril del 2024 la variación de la salida del filtro era alta, incluso se obtenían valores por fuera de la normativa. Se aprecia en la figura 6 cómo desde que se realizó una intervención continua de un operador al realizar retro lavado de los filtros semanalmente desde el mes de abril del 2024, se tuvo mejoría en la retención de hierro en los filtros favoreciendo la salida de agua a un valor por debajo de 0.1 ppm de hierro, cabe resaltar que estos retro lavados solo se pueden realizar cuando la planta extractora se encuentre en mantenimiento, lo cual suele hacerse semanalmente. Según la normal británica BS-2486 (American Boiler Manufacturing Association, 1997) el hierro en el agua de alimentación de caldera debe estar por debajo de 0.1 ppm, lo cual indicaría que el agua de alimentación contiene hierro según los parámetros establecidos garantizando una buena operación de la caldera al evitar formación de corrosión.

Figura 6.

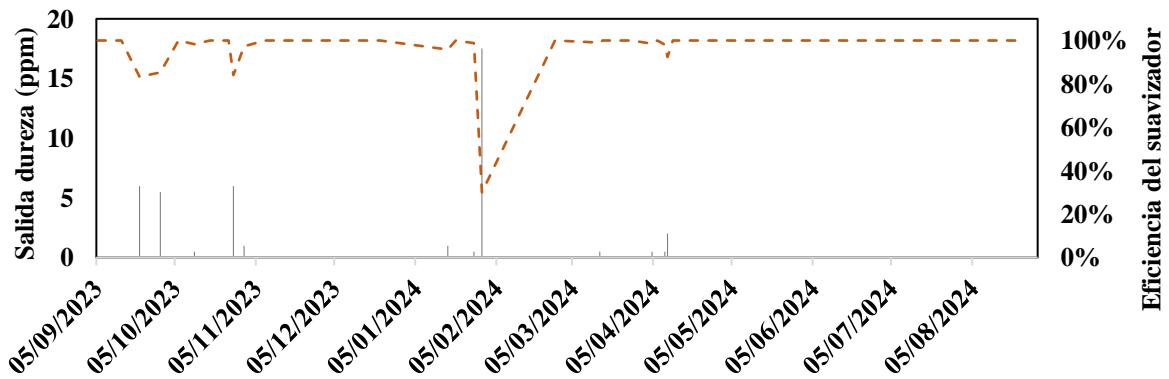
Variación de hierro en la salida del filtro durante el tiempo.



4.1.2.3 Suavizador

Figura 7.

Variación de la dureza en la salida del suavizador durante el tiempo.



El suavizador utiliza un lecho de resinas de zeolitas de sodio, estas contienen iones de sodio que realizan intercambio catiónico para la eliminación de calcio y magnesio (dureza). Según la norma británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997) la dureza total en el agua para alimentación de caldera debe ser < 2 ppm, en lo posible cero. En la empresa se cuenta con dos suavizadores uno en operación y otro como respaldo, cada uno con una capacidad de flujo de 16 m³/h. Durante el proceso de

suavización, el lecho de resinas de los suavizadores retiene los iones de calcio y magnesio en alta cantidad por lo que con el tiempo estos requieren su regeneración mediante el uso de cloruro de sodio para que operen de una manera adecuada. Se estableció que la regeneración debe realizarse cuando el suavizador 1 haya tratado 900 m³ de agua, mientras que para el suavizador 2 el límite es 700 m³, de lo contrario el suavizador dejará pasar dureza como se muestra en los primeros meses en la figura 7 donde la regeneración no realizaba en los flujos debidamente tratados respectivamente, obteniendo en el mes de septiembre, octubre y noviembre del 2023, flujos de paso entre 1500 y 2000 m³ de agua tratada los suavizadores. Como se muestra en la Figura 7, desde abril de 2024 la regeneración debida de los suavizadores teniendo en cuenta los flujos de agua tratado para realizada, ha permitido evitar picos de dureza a la salida de los suavizadores, manteniéndola en valores cercanos a cero, lo que garantiza una eficiencia del 100%, cumpliendo con los estándares establecidos por la normativa para evitar incrustaciones en la caldera en relación con la dureza, favoreciendo la buena operación de esta.

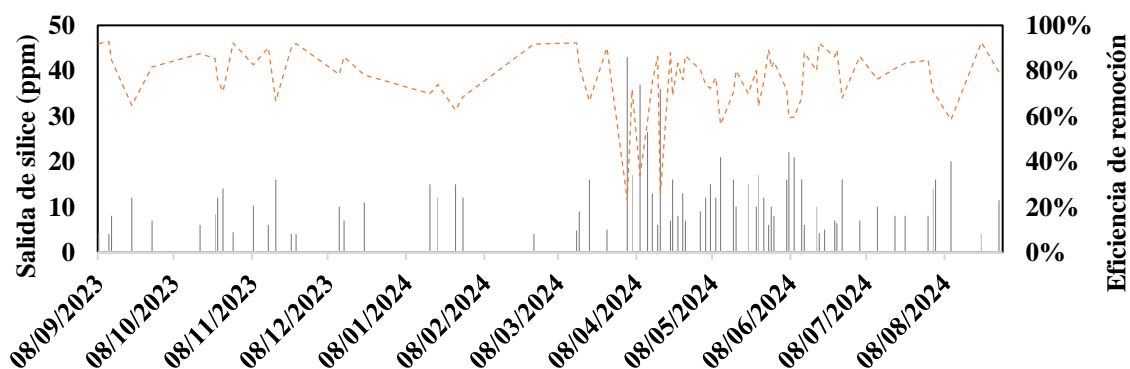
4.1.2.4 Desilizador

En la Figura 8 se muestra la variación de la concentración de sílice en la salida del desilizador. Este equipo utiliza un lecho de resinas de intercambio iónico con la finalidad de retener la sílice mediante intercambio iónico y eliminarla del agua. Se observa una variabilidad significativa en los resultados, especialmente en el mes de abril, donde se registran picos de entre 30 y 40 ppm de sílice, valores que afectan negativamente la eficiencia de la caldera teniendo en cuenta la Norma Británica BS-2486 y la ABMA (American Boiler Manufacturing Association, 1997), que nos dice que la concentración máxima permitida de sílice (SiO₂) en el agua de la caldera no debe superar los 150 ppm para evitar incrustaciones.

Considerando que los ciclos de concentración de la caldera son 10, el límite máximo en el agua de alimentación debería ser de 15 ppm. Se estableció que el desilizador debe regenerarse después de tratar 300 m³ de agua para obtener valores de sílice indicados. Sin embargo, en abril, el volumen de agua procesado antes de la regeneración fue de 500 m³, lo que redujo la eficiencia del sistema y contribuyó al aumento de la sílice en la salida como se muestra en la figura 8. Para mantener un rendimiento óptimo, es primordial realizar la regeneración con soda cáustica (NaOH) a tiempo, asegurando que los niveles de sílice se mantengan dentro de los parámetros recomendados.

Figura 8.

Variación de la sílice en la salida del desilizador durante el tiempo.



4.1.3. Análisis purgas de caldera.

La caldera implementada en el proceso opera con un caudal promedio de alimentación de 10 m³/h y cuenta con un sistema de purga automática de fondo compuesto por una válvula con un actuador y un temporizador que programa los ciclos de purga. La purga tiene como finalidad evitar problemas de incrustaciones y corrosión al eliminar los iones disueltos acumulados en el agua (Arnulfo Oelker Behn, 2010). En este caso, el

temporizador está configurado para realizar una purga cada hora para tener un total de 24 purgas diarias.

Figura 9.

Sílice en la purga de la caldera.

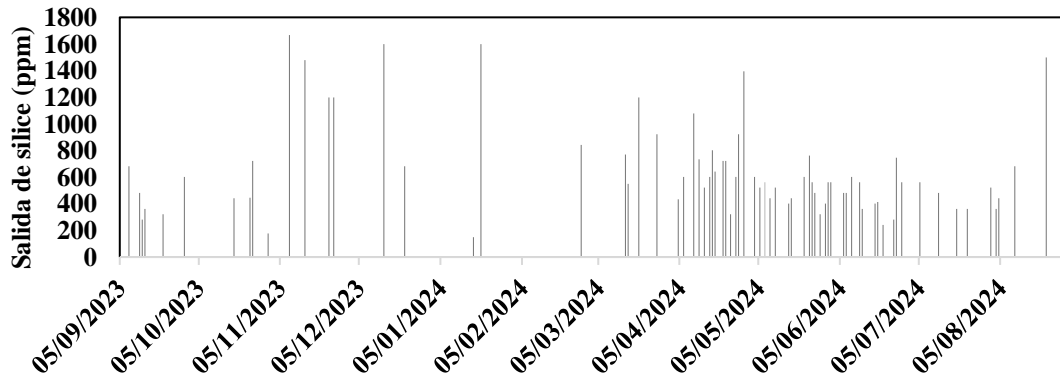
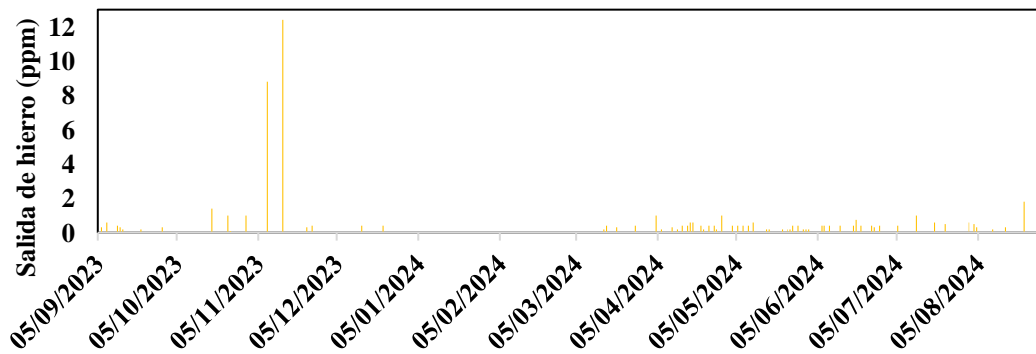


Figura 10.

Hierro en la purga de la caldera



Al analizar los datos de la purga se puede observar en la Figura 10 que la concentración de hierro en la salida de la purga se mantiene por debajo de 3 ppm lo cual cumple con los criterios establecidos en la Norma Británica para calderas(American Boiler Manufacturing Association, 1997). Sin embargo, en la Figura 9, correspondiente a la concentración de sílice en la purga se puede evidenciar una disminución cuando hubo intervención continua de un operario en el tratamiento de agua, aunque no entra dentro de los

parámetros establecidos por la norma y que frecuentemente supera el rango recomendado de 150 ppm, lo que nos indica una posible purga insuficiente. Este comportamiento sugiere que se podría requerir un ajuste en la duración de la purga para evitar la acumulación excesiva de sílice, pero aumentar demasiado la frecuencia de las purgas también podría afectar la eficiencia térmica de la caldera, incrementar los costos energéticos y generar un desgaste prematuro en el sistema de control.

Por otro lado, en la entrada de la caldera se dosifican dos productos químicos, Oxycontrol y Boilerguard. El Oxycontrol se encarga de eliminar el oxígeno disuelto en el agua para prevenir la corrosión, reaccionando químicamente con el oxígeno para formar compuestos inertes que no dañan la caldera (CHEMICOACHING., 2002). El Boilerguard, por su parte, contiene una mezcla de fosfatos, dispersantes y alcalinizantes que ayudan a evitar la formación de incrustaciones de sales de magnesio y calcio (CHEMICOACHING., 2002). Los fosfatos precipitan estos compuestos en forma de lodos blandos que son eliminados con las purgas, mientras que los alcalinizantes ajustan el pH del agua para prevenir la corrosión ácida y reducir la adherencia de la sílice en las superficies internas de la caldera.

Figura 11.

Sulfitos en la purga de la caldera

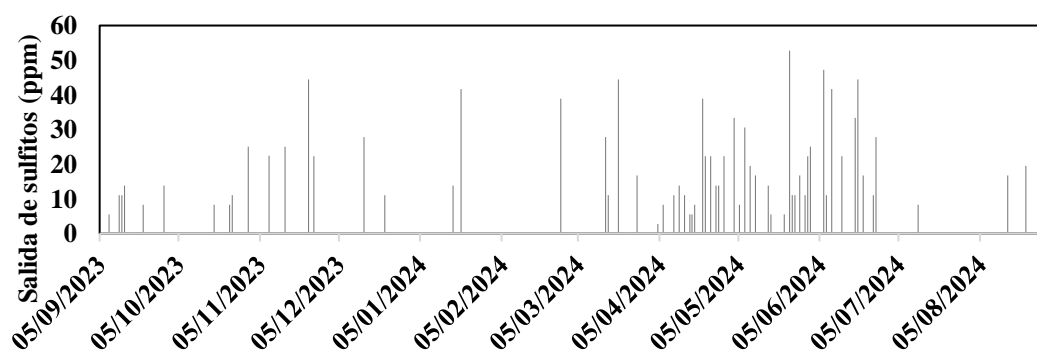
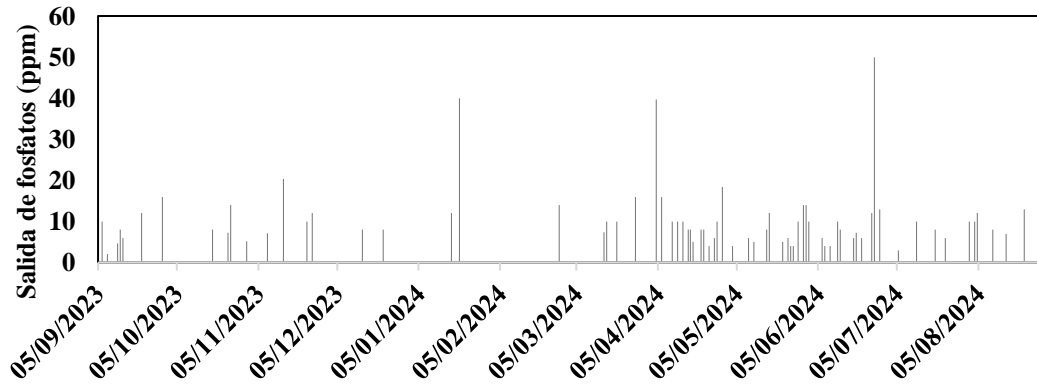


Figura 12.*Fosfatos en la purga de la caldera.*

Finalmente, en las Figuras 11 y 12 se muestra la variabilidad de las concentraciones de fosfatos y sulfitos a lo largo del tiempo, donde se evidencia que estos valores se mantienen dentro del rango recomendado. Lo anterior puede indicar un adecuado control de incrustaciones y corrosión dentro del sistema debido a la adición de químicos, lo que puede indicar que, aunque la sílice del sistema este por encima de los valores correspondientes a 115 ppm, el uso de químicos puede garantizar la no precipitación de esta en otras formas.

4.2. Elaboración de un manual de operación y mantenimiento

4.2.1. Objetivo y alcance

Este manual de operación tiene objetivo proporcionar una guía para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de agua de caldera con la finalidad de optimizar su eficiencia, prolongar la utilidad de los equipos y asegurar la generación de vapor para el proceso de extracción de aceite de palma y palmiste. Su alcance es establecer los procedimientos de operación, mantenimiento y respuesta a emergencias del sistema de tratamiento de agua para alimentación de la caldera esto desde la captación del agua del pozo hasta su ingreso a la generación de vapor. Este manual contiene la descripción de equipos,

así como los parámetros de control, las guías de mantenimiento, que acciones tener ante fallas o emergencias, todo esto con la finalidad de estandarizar el funcionamiento eficiente del sistema de tratamiento de agua. esto se logró establecer a partir de los análisis realizados y lo puesta en práctica durante la intervención operaria.

4.2.2. Principales equipos

Se realizó un reconocimiento de los equipos críticos del sistema, describiendo sus funciones principales y su impacto en la calidad del agua tratada.

4.2.2.1. Torre de aireación

Torres conformadas por bandejas con perforaciones interiores que permiten el contacto del agua con el aire atmosférico favoreciendo la solubilización del oxígeno. Para mejorar este proceso, se utilizan anillos Pall Ring cuya área superficial incrementa la transferencia de oxígeno facilitando la oxidación de hierro para su posterior remoción mediante clarificación y filtración.

Figura 13.

Fotografía torre de aireación



4.2.2.2. *Tanque sedimentador o clarificador*

El clarificador también conocido como tanque de sedimentación o decantador está diseñado para la remoción de partículas en suspensión mediante sedimentación por gravedad. Con la ayuda de la inyección de coagulantes y floculantes estas partículas se aglutinan en flóculos que se sedimentan para facilitar su eliminación. Este proceso también contribuye a la remoción de hierro cuando se encuentra en forma de óxidos o partículas suspendidas. El sistema opera con un tiempo de retención hidráulica de 60 minutos y un flujo de 18 m³/h.

Figura 14.

Fotografía clarificadora.

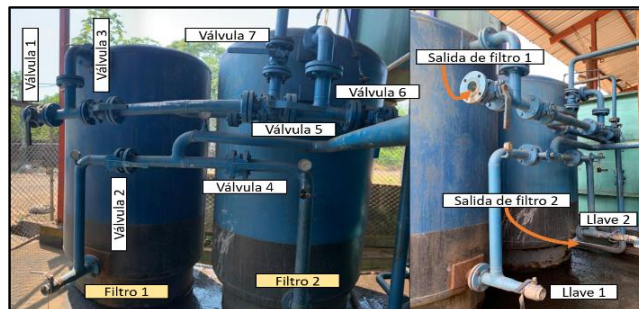


4.2.2.3. *Filtro de arena de sílice*

Los filtros de arena de sílice se utilizan para eliminar la turbidez y las partículas que se encuentran en suspensión en el agua. Estos están compuestos por varias capas de arena las cuales retienen las partículas en suspensión cuando el agua desciende por el filtro. Una vez el filtro se cargue de impurezas se debe regenerar por medio del retro lavado.

Figura 15.

Fotografía filtros



Nota: Son dos filtros trabajando en paralelo los cuales se encuentran en operación durante el tratamiento del agua.

4.2.2.4. Suavizador

El sistema de suavización reduce la dureza del agua mediante un proceso de intercambio catiónico en un lecho de resinas de zeolita de sodio. Estas resinas intercambian los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) por sodio (Na^+), disminuyendo la concentración de estos minerales en el agua. Con el uso, las resinas se saturan y requieren regeneración, un proceso en el que una solución de cloruro de sodio (NaCl) repone los iones de sodio, restaurando la capacidad de ablandamiento del sistema.

Figura 16.

Fotografía suavizadores



Nota: Hay dos suavizadores, pero solo un suavizador en operación durante el tratamiento de agua. El que no esté en operación debe estar regenerado cuando el otro equipo cumpla su ciclo.

4.2.2.5. *Desilizador*

Es un filtro que utiliza material específico para retener la sílice del agua por el intercambio iónico, el cual es un proceso en el que se hace pasar una corriente a través de un sustrato de resina, lo que permite eliminar los contaminantes iónicos y sustituirlos por partículas de carga similar.

Figura 17.

Fotografía desilizador



Nota: Hay dos desilizadores, pero solo hay un desilizador en operación durante el tratamiento de agua. El que no esté en operación debe estar regenerado cuando el otro equipo cumpla su ciclo.

4.2.2.6. *Tanque plateado*

Tanque de almacenamiento de agua purificada proveniente de los deslizadores, cuenta con una capacidad de 5 metros cúbicos. Allí se almacena, calienta y suministra agua al proceso de generación de vapor en caldera.

Figura 18.

Fotografía tanque de almacenamiento de agua purificada



4.2.2.7. *Tanque de agua de emergencia*

Tanque de almacenamiento de agua de capacidad de 32 metros cúbicos. Es usado para suministrar agua a los filtros verticales de arena cuando el tanque sedimentador, las electrobombas o la tubería están en mantenimiento

Figura 19.

Fotografía tanque de agua de emergencia



4.2.2.8. *Otros equipos*

- Bombas

- Compresor
- Sensores de presión
- Sensores de nivel
- Electroválvula
- Medidor de flujo de agua

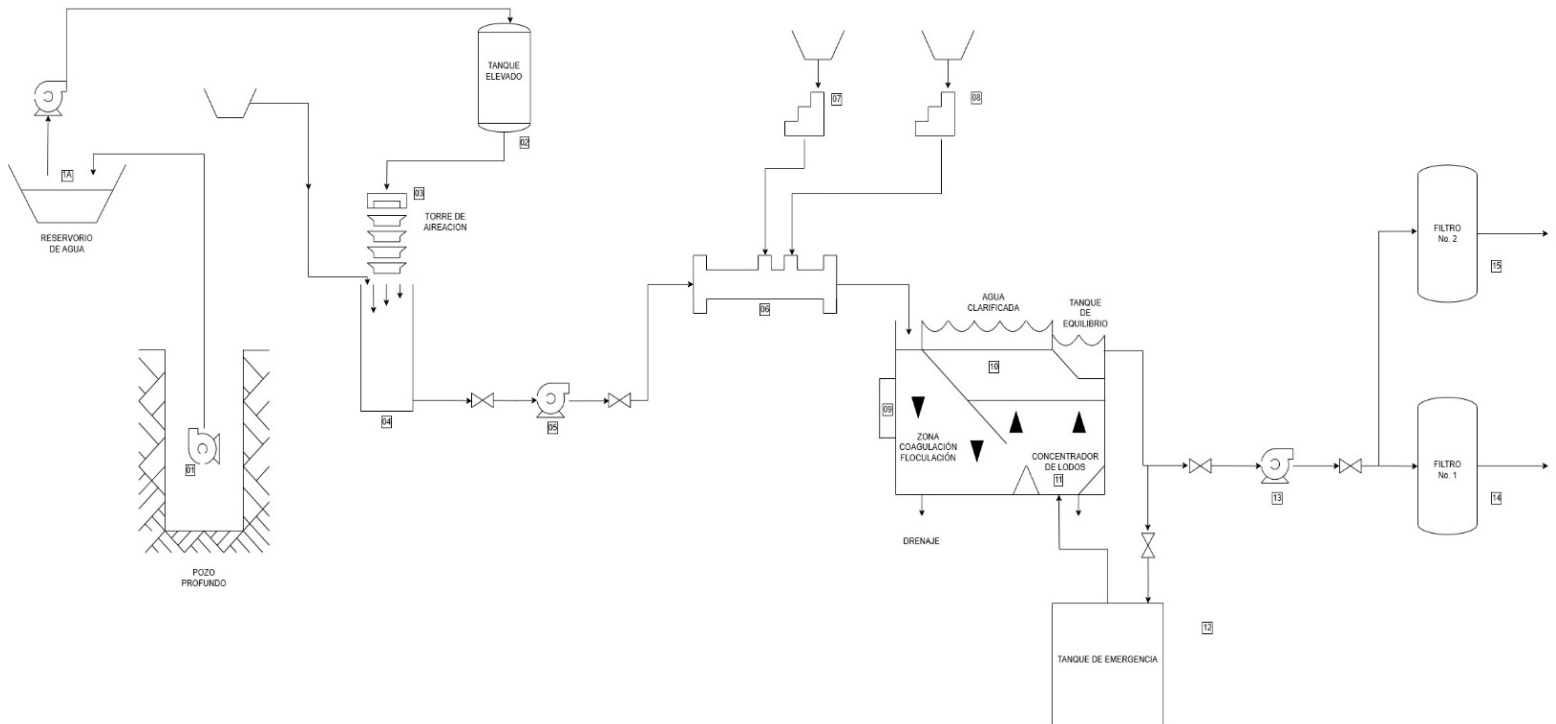
4.2.3. Resumen del proceso

El sistema de tratamiento de agua para la alimentación de la caldera y generación de vapor está compuesto por ocho equipos principales: una torre de aireación con anillos de Pall, un clarificador, dos filtros en paralelo, dos suavizadores (uno en operación y otro de respaldo) y dos desilizadores (uno en funcionamiento y otro en reserva). Estos equipos trabajan en conjunto para garantizar la calidad del agua y optimizar la eficiencia del proceso de generación de vapor. **En la imagen 9 podemos ver una parte 1, y una parte 2, de igual forma en el apéndice A se encuentra esta completa.**

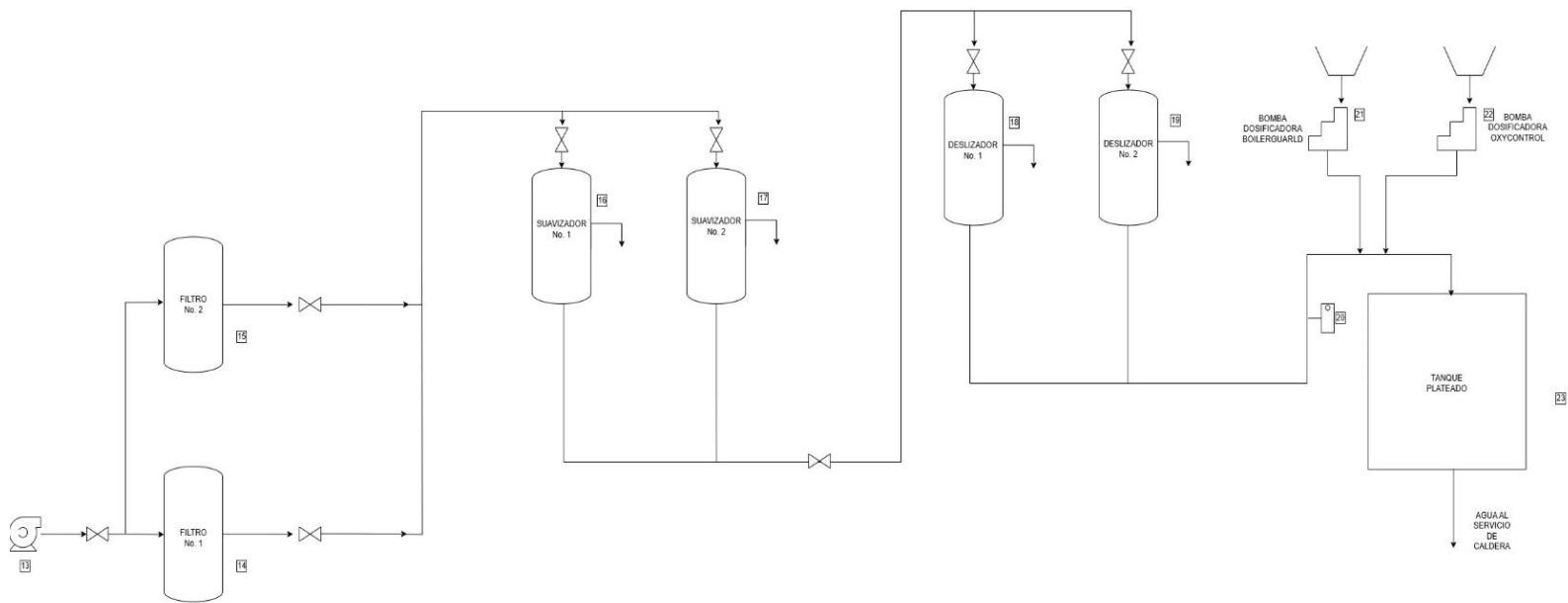
Figura 20.

Diagrama general del proceso Part 1 y Part 2

Parte 1. Proceso inicial de la planta torre de aeración, clarificador, filtros



Parte 2. Proceso final de la planta (Suavizadores, desilizadores)



4.2.4. Parámetros de calidad del agua

Los siguientes parámetros han sido establecidos teniendo en cuenta normas implementadas para las calderas (American Boiler Manufacturing Association, 1997) y lo evaluado durante la operación que ha llevado la planta esto con el objetivo de garantizar una calidad de agua prevenga la corrosión e incrustación. Estas incrustaciones pueden afectar la transferencia de calor en la caldera, reduciendo su eficiencia y provocando el recalentamiento de los tubos, lo que podría derivar en deformaciones, roturas y restricciones en el flujo de agua (Arnulfo Oelker Behn, 2010).

4.2.4.1. Parámetros de calidad agua de alimentación de la caldera.

Tabla 1.*Parámetros necesarios para agua de alimentación*

Parámetro	Valor requerido
Dureza total	< 0.5 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 5 ppm
Contenido total de hierro	< 0.1 ppm
Contenido total de cobre	< 0.01 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles

4.2.4.2. Parámetros de agua de purga en la caldera.**Tabla 2.***Parámetros necesarios para agua de purga de caldera*

Parámetro	Valor requerido
pH	10.5 - 11.5
Conductividad	500 - 1500 μ S/cm
Alcalinidad P	< 600 ppm CaCO ₃
Alcalinidad M	< 700 ppm CaCO ₃
Alcalinidad OH	200 - 400 ppm CaCO ₃
Sílice	< 150 ppm SiO ₂
Hierro	0 - 3 ppm Fe
Fosfatos	5 - 20 ppm PO ₄
Sulfitos	20 - 40 ppm SO ₃

4.2.5. Procedimientos esenciales

Se documentaron los pasos necesarios para la puesta en marcha del sistema, el mantenimiento de los equipos y las acciones en caso de emergencia, organizándolos en tablas resumidas para facilitar su consulta.

4.2.5.1. Puesta en marcha de la planta

Se empleo un paso a paso de la puesta en marcha de la planta, las cuales se explican detalladamente en el manual de operación ANEXO 1. A continuación, se muestra una ficha con todas las actividades que se deben realizar para llevar a cabo la puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua, en esta se debe poner la fecha, el nombre del supervisor de turno, y las observaciones que se tienen al realizar cada actividad y la firma del operario, quien realizo las actividades.

Tabla 3.

Ficha plan puesta en marcha de la planta

Extractora Monterrey S. A			
Actividades para la puesta en marcha de la planta de agua			
Fecha:	Supervisor:		
Actividad	Realizada	Observaciones	Firma de operario
Revisión de reservorios			
Revisión del compresor			
Abrir válvula de entrada de agua			
Verificar químicos y bombas dosificadoras			
Verificar válvulas de operación			
Energizar equipos			
Purgar aire de equipos			

4.2.5.1. Puntos de análisis en el proceso.

Se debe realizar un seguimiento mediante análisis en los puntos críticos de la operación en cada uno de los equipos esto es fundamental para identificar y corregir errores

en el proceso de tratamiento de agua, garantizando su eficiencia y cumplimiento de parámetros de calidad.

Los siguientes análisis deben realizarse en las muestras tomadas de estos puntos específicos para garantizar el control y calidad del proceso.

Tabla 4.

Ficha puntos de análisis y cuales realizar.

Análisis/Punto de muestreo	Agua Cruda	Agua Clarificada	Agua Filtrada	Agua Desmineralizada	Agua de Alimento	Agua de Purga
pH						
Conductividad						
Hierro						
Dureza						
Sílice						
Alcalinidad						
Sulfitos						
Fosfatos						

4.2.5.3. Mantenimiento preventivo de equipos de tratamiento de agua

Para el clarificador se debe realizar la eliminación diaria de los lodos mediante drenaje para garantizar el buen funcionamiento del clarificador y evitar la acumulación de estos, al igual que un mantenimiento periódico mensual del clarificador. Para los filtros se debe realizar retro lavado de los filtros semanalmente, siempre y cuando la planta de extracción de aceite de palma se encuentre en mantenimiento. Para los suavizadores se debe realizar la regeneración cuando el suavizador 1 haya tratado 900 m³ de agua, mientras que

para el suavizador 2 el límite es 700 m³ y por último para los desilizadores deben regenerarse después de tratar 300 m³.

En el ANEXO 1. se muestra el paso a paso del mantenimiento de cada uno de los equipos implementados en el proceso, sin embargo, se muestra una ficha con todas las actividades que se deben realizar para el mantenimiento de la planta de agua.

Tabla 5.

Ficha seguimiento a actividades.

Extractora Monterrey S.A				
Actividades de mantenimiento de la planta de agua				
Semana:		Supervisor:		
Actividad	Fecha del mantenimiento	Realizada	Observaciones	Firma de operario
Limpeza de clarificador				
Purgas del clarificador				
Retro lavados filtros arena				
Regeneración suavizadora 1				
Regeneración suavizadora 2				
Regeneración desilizador 1				
Regeneración desilizador 2				

5. Conclusiones

El análisis del desempeño del sistema de tratamiento de agua para la generación de vapor evidenció inconsistencias en la calidad del agua tratada antes de la intervención continua de un operario. La implementación de un seguimiento continuo y un mantenimiento adecuado en equipos como clarificador, filtros, suavizadores y desilizadores, permitió la mejora de la estabilidad de los parámetros del agua de alimentación a la caldera, haciendo que estos mismos estén dentro de los rangos recomendados.

El análisis de las purgas de la caldera demostró una mejora después de la intervención continua de un operario, aun así, aunque el sistema de purga automática mantiene niveles adecuados de hierro en la caldera, los valores de sílice en la purga frecuentemente superan los límites recomendados. Sin embargo, en el agua de purga de calderas, hay presencia de sulfitos y fosfatos indicando que, aunque las purgas no sean suficientes, los químicos inyectados a la entrada de la caldera pueden estar ejerciendo un control para evitar la formación de precipitantes de sílice.

La elaboración del manual de operación y mantenimiento proporcionó un documento técnico que estandariza los procedimientos esenciales para la puesta en marcha, mantenimiento y monitoreo del sistema de tratamiento de agua. Su implementación garantizará una operación eficiente y reducirá los riesgos de fallas en la caldera a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- American Boiler Manufacturing Association. (1997). *Norma Británica BS – 2486, la ABMA*.
- Ana Laura Ortiz, C. E. T. (2011). *TRATAMIENTO DE AGUA PARA ALIMENTACION DE CALDERAS*. Mexico, Instituto Politécnico Nacional.
- Arnulfo Oelker Behn. (2010). *Tratamiento de Agua para Calderas. THERMAL ENGINEERING LTDA. Providencia 2133, Of. 207, Santiago, Chile Fono: 56 – 2 – 3347402*.
- CHEMICOACHING. (2002). Tratamiento de aguas – CHEMICOACHING. In <https://chemicoaching.com/tratamiento-de-aguas/>.
- Duniesky Pérez Acosta. (2011). *Tratamiento de agua para la generación de vapor en la Universidad de Matanzas, facultad de ingenierías*.
- Emara, M. M., Abdelaziz, F., & Elbarbary, H. (2016). Physico-Chemical Studies for Boiler Water Treatment and Its Impact on the Quality of Final Industrial Product. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(11), 572. www.ijsrp.org
- José, J., & Charcopa, D. (2013). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA “OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS DE LA EMPRESA CONTRACHAPADOS DE ESMERALDAS S.A” TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO QUÍMICO*.
- Kumaradevan, D., Chuah, K. H., Moey, L. K., Mohan, V., & Wan, W. T. (2015). Optimising the operational parameters of a spherical steriliser for the treatment of oil palm fresh fruit bunch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 88(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/88/1/012031>
- Pakdeechot, S., Hanifarianty, S., & Wae-hayee, M. (2020). The Effects of Sterilization Time of FFB on Fruit-Bunch Separation and Crude Palm Oil Quality Using Direct Steaming. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 72(1), 1–9. <https://doi.org/10.37934/aram.72.1.19>
- Parsons, S., & Jefferson, B. (2006). *Introduction to Potable Water Treatment Processes*, blackwell publishing.
- Pedro Abarca Bahamondes. (2013). *Agua de Alimentación de Calderas*, ACHS.

Zoraimé Méndez Santana. (2020). *Propuesta de soluciones tecnológicas a los problemas presentados en las calderas de vapor con el retorno del condensado y la recuperación de aguas tratadas.*

Apéndice A. Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento de Agua para la Caldera en la Planta Extractora Monterrey

1.Objetivo

Proporcionar una guía estandarizada para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de agua de caldera, con el fin de optimizar su eficiencia, prolongar la vida útil de los equipos y asegurar la generación de vapor de calidad para el proceso de extracción de aceite de palma y palmiste.

2.Alcance

Este manual establece los procedimientos de operación, mantenimiento y respuesta a emergencias del sistema de tratamiento de agua para caldera, desde la captación del agua del pozo hasta su ingreso a la generación de vapor. Abarca la descripción de equipos, parámetros de control, rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como acciones ante fallas o emergencias, con el fin de estandarizar su manejo y garantizar un funcionamiento eficiente.

3.Importancia del tratamiento de agua.

El tratamiento del agua para la caldera es fundamental para garantizar la eficiencia operativa y la calidad del vapor utilizado en procesos clave como la esterilización y clarificación del aceite de palma. El agua captada puede contener impurezas y minerales que, sin un adecuado tratamiento, pueden generar corrosión, incrustaciones y acumulación de sedimentos, afectando el rendimiento de la caldera y aumentando los costos de mantenimiento.

Un tratamiento eficiente permite prolongar la vida útil de los equipos, optimizar la transferencia de calor y reducir riesgos operativos, evitando fallas que puedan comprometer la producción. Además, previene paradas inesperadas y

garantiza un vapor de calidad, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad del proceso industrial.

4. Diagrama del proceso

El sistema de tratamiento de agua para la alimentación de la caldera y generación de vapor está compuesto por ocho equipos principales: una torre de aireación con anillos de Pall, un clarificador, dos filtros en paralelo, dos suavizadores (uno en operación y otro de respaldo) y dos desilizadores (uno en funcionamiento y otro en reserva). Estos equipos trabajan en conjunto para garantizar la calidad del agua y optimizar la eficiencia del proceso de generación de vapor. (ANEXO 2)

5. Principales equipos

5.1 Torre de aireación

Torres conformadas por bandejas con perforaciones interiores que permiten el contacto del agua con el aire atmosférico, favoreciendo la solubilización del oxígeno. Para mejorar este proceso, se utilizan anillos Pall Ring, cuya gran área superficial incrementa la transferencia de oxígeno, facilitando la oxidación de hierro y magnesio para su posterior remoción mediante clarificación y filtración.

Figura 1. Fotografía torre de aireación



5.2 Tanque sedimentador o clarificador

El clarificador, también conocido como tanque de sedimentación o decantador, está diseñado para la remoción de partículas en suspensión mediante sedimentación por gravedad. A través de la inyección de coagulantes y floculantes, estas partículas se aglutinan en flóculos que se sedimentan, facilitando su eliminación. Este proceso también contribuye a la remoción de hierro cuando se encuentra en forma de óxidos o partículas suspendidas. El sistema opera con un tiempo de retención hidráulica de 60 minutos y un flujo de 18 m³/h, optimizando la separación de impurezas.

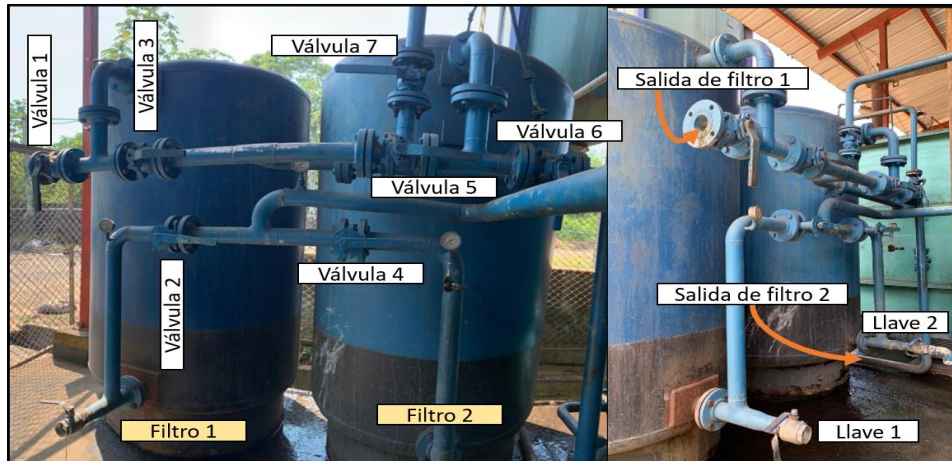
Figura 2. Fotografía clarificador



5.3 Filtro de arena de sílice

Los filtros de arena de sílice se utilizan para eliminar la turbidez y las partículas que se encuentran en suspensión en el agua. Compuestos por varias capas de arena, que retienen las partículas en suspensión cuando el agua desciende por el filtro. Una vez el filtro se cargue de impurezas, se puede regenerar por medio del retro lavado.

Figura 3. Fotografía filtros



Nota: Son dos filtros trabajando en paralelo los cuales se encuentran en operación durante el tratamiento del agua.

5.4 Suavizador

El sistema de suavización reduce la dureza del agua mediante un proceso de intercambio catiónico en un lecho de resinas de zeolita de sodio. Estas resinas intercambian los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) por sodio (Na^+), disminuyendo la concentración de estos minerales en el agua. Con el uso, las resinas se saturan y requieren regeneración, un proceso en el que una solución de cloruro de sodio (NaCl) repone los iones de sodio, restaurando la capacidad de ablandamiento del sistema.

Figura 4. Fotografía suavizadores



Nota: Hay dos suavizadores, pero solo un suavizador en operación durante el tratamiento de agua. El que no esté en operación, debe estar regenerado cuando el otro equipo cumpla su ciclo.

5.3. Desilizador

Es un filtro que utiliza material específico para retener la sílice del agua por el intercambio iónico, el cual es un proceso en el que se hace pasar una corriente a través de un sustrato de resina, lo que permite eliminar los contaminantes iónicos y sustituirlos por partículas de carga similar.

Figura 5. Fotografía desilizador.



Nota: Hay dos desilizadores, pero solo hay un desilizador en operación durante el tratamiento de agua. El que no esté en operación, debe estar regenerado cuando el otro equipo cumpla su ciclo.

5.4 Tanque plateado

Tanque de almacenamiento de agua purificada proveniente de los desilizadores, cuenta con una capacidad de 5 metros cúbicos. Allí se almacena, calienta y suministra agua al proceso de generación de vapor en caldera.

Figura 6. Fotografía de tanque de almacenamiento de agua purificada



5.5 Tanque de agua de emergencia

Tanque de almacenamiento de agua de capacidad de 32 metros cúbicos. Es usado para suministrar agua a los filtros verticales de arena cuando el tanque sedimentador, las electrobombas o la tubería están en mantenimiento.

Figura 7. Fotografía de tanque de agua de emergencia



5.6. Otros equipos

- Bombas
- Compresor
- Sensores de presión
- Sensores de nivel

- Electroválvula
- Medidor de flujo de agua

6. Parámetros de calidad del agua

Los siguientes parámetros han sido establecidos teniendo en cuenta Normas implementadas para las calderas y lo evaluado durante la operación que ha llevado la planta esto con el objetivo de garantizar una calidad de agua prevenga la corrosión e incrustación. Estas incrustaciones pueden afectar la transferencia de calor en la caldera, reduciendo su eficiencia y provocando el recalentamiento de los tubos, lo que podría derivar en deformaciones, roturas y restricciones en el flujo de agua.

6.1 Parámetros de calidad agua de alimentación de la caldera.

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 0.5 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 5 ppm
Contenido total de hierro	< 0.1 ppm
Contenido total de cobre	< 0.01 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles

Tabla 1. Parámetros necesarios para agua de alimentación

6.2. Parámetros de agua de purga en la caldera.

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
pH	10.5 - 11.5
Conductividad	500 - 1500 μ S/cm
Alcalinidad P	< 600 ppm CaCO ₃
Alcalinidad M	< 700 ppm CaCO ₃
Alcalinidad OH	200 - 400 ppm CaCO ₃
Sílice	< 150 ppm SiO ₂
Hierro	0 - 3 ppm Fe
Fosfatos	5 - 20 ppm PO ₄
Sulfitos	20 - 40 ppm SO ₃

Tabla 2. Parámetros necesarios para agua de purga de caldera**7. Puesta en marcha de la planta de agua**

A continuación, se muestra una ficha con todas las actividades que se deben realizar para llevar a cabo la puesta en marcha de agua. En la siguiente parte se explica cómo se realiza cada una de las actividades

Extractora Monterrey S. A			
Actividades para la puesta en marcha de la planta de agua			
Fecha:		Supervisor:	
Actividad	Realizada	Observaciones	Firma de operario
Revisión de reservorios			
Revisión del compresor			
Abrir válvula de entrada de agua			
Verificar químicos y bombas dosificadoras			
Verificar válvulas de operación			
Energizar equipos			
Purgar aire de equipos			

Tabla 3. Ficha actividades para puesta en marcha**7.1 Verificación del nivel de agua en reservorios**

Se debe verificar que los reservorios que se encuentran en la zona de oficina de supervisores (Abajo) y en la planta de pretratamiento se encuentren llenos totalmente o en su defecto, $\frac{3}{4}$ partes. Esto nos asegura que la bomba del pozo perforado esté operando de forma correcta.

Nota: De encontrar los reservorios con bajo nivel de agua, informar enseguida al supervisor de planta y al encargado de mantenimiento eléctrico o mecánico de turno.

7.2 Verificación y encendido del compresor

Para iniciar la operación se necesita que el compresor general (ubicado cerca de la oficina de supervisores) se encuentre encendido para que actúe la electroválvula. De no encontrarse encendido, informar al supervisor para que el eléctrico encargado lo encienda.

Nota: Dentro de la planta de agua, hay otro compresor auxiliar de menor capacidad, este también se puede utilizar para la operación o en su defecto para el mantenimiento.

7.3 Apertura de la válvula de entrada de agua

Con la ayuda de un elemento especial que nos permite llegar a la válvula, abrir parcialmente la válvula para permitir el paso del agua.

Nota: Recordar que una válvula está cerrada si está perpendicular a la tubería por la que pasa el fluido (90°) y que se encuentra abierta cuando está paralela a la tubería por la que pasa el fluido (0°).

Figura 8. Fotografía apertura de la válvula de entrada de agua



7.4 Verificación de químicos y operación de bombas dosificadoras

En la planta de agua hay cuatro puntos de dosificación de químicos que ayudan en la operación con su respectiva bomba dosificadora: Sedisol, Clarisol 3176, Oxycontrol y Boilerguard (floculante, coagulante, secuestrante de oxígeno y el controlador de depósitos en la caldera). Los puntos de dosificación se encuentran

al lado del tanque clarificador (Sedisol y Clarisol 3176) y abajo del tanque plateado (Oxycontrol y Boilerguard). Cuando se hace la revisión se debe observar que las bombas estén operando con normalidad y en las dosificaciones correctas. Para el caso de los químicos se observa si es necesario cambiar por un contenedor nuevo debido al bajo nivel de químico. El único químico que debe prepararse es el sedisol, este se hace en una relación de 1:1, en este caso específico se prepara 200 gr para un tanque de 200 litros.

Figura 9. Fotografía ubicación químicos



Nota: Los químicos deben manipularse con los respectivos EPP, ya que estos pueden afectar gravemente nuestra salud si se manipulan de una forma incorrecta. Revisar fichas de seguridad instaladas en la planta de agua en caso de una emergencia.

7.5 Ajuste y verificación de válvulas operativas

Se observa que todas las válvulas de los equipos que estén en operación, tienen la posición adecuada para que el agua haga el recorrido adecuado para ser tratada y llegue al tanque plateado a calentarse.

Nota: Revisar el apartado 5 en la sección de mantenimiento (regeneración y retro lavados) para verificación de cada válvula dependiendo del equipo en operación. Se debe garantizar que el agua este entrando por los dos filtros, el suavizador y desilizador en operación.

7.6. Encendido y configuración de equipos eléctricos

Para dar suministro eléctrico a los equipos de planta de agua lo que se debe hacer es girar la perilla del “**switch general**” en modo “**ON**” en el tablero de control de planta de agua y accionar a modo “**AUTO**” las siguientes perillas: válvula de transferencia, motorreductor, bomba de filtros, bomba dosificación cloro, bomba

dosificación coagulante y bomba dosificación coayudante.

Nota: Cuando se ilumine el botón de “tensión” en color rojo indicando que existe una falla o cuando uno de los equipos no empiece su operación se deberá informar al eléctrico encargado.

Figura 10. Fotografía del tablero de suministro eléctrico



7.7. Purgado de aire en equipos

En la parte superior de los filtros, suavizadores y desilizadores se encuentra una válvula para hacer la purga de aire que puedan contener estos. Se abre (cuando la bomba de la salida del tanque clarificador esté encendida) a los equipos que estén en operación hasta que expulse todo el aire y se cierra cuando empieza a salir agua.

8. Análisis de los puntos de agua

Realizar un seguimiento mediante análisis en los puntos críticos de la operación es fundamental para identificar y corregir errores en el proceso de tratamiento de agua, garantizando su eficiencia y cumplimiento de parámetros de calidad. Los siguientes análisis deben realizarse en las muestras tomadas de estos puntos específicos para garantizar el control y calidad del proceso:

Tabla 4. Análisis necesarios para la salida de cada equipo.

Análisis/Punto de muestreo	Agua Cruda	Agua Clarificada	Agua Filtrada	Agua Desmineralizada	Agua de Alimento	Agua de Purga
pH						
Conductividad						
Hierro						
Dureza						
Sílice						
Alcalinidad						
Sulfitos						
Fosfatos						

9.Mantenimiento preventivo de equipos de tratamiento de agua

A continuación, se muestra una ficha con todas las actividades que se deben realizar para el mantenimiento de la planta de agua. En la siguiente parte se explica cómo se realiza cada una de las actividades.

Tabla 5. Ficha seguimiento a actividades.

Extractora Monterrey S.A				
Actividades de mantenimiento de la planta de agua				
Semana:		Supervisor:		
Actividad	Fecha del mantenimiento	Realizada	Observaciones	Firma de operario
Limpieza de clarificador				
Purgas del clarificador				
Retro lavados filtros arena				
Regeneración suavizadora 1				

Regeneración suavizadora 2				
Regeneración desilizador 1				
Regeneración desilizador 2				

9.1. Tanque clarificador

9.1.1. Purgas del tanque clarificador (Diariamente)

Objetivo

Reducir la acumulación de flóculos en el tanque sedimentador para mantener su eficiencia operativa.

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad

Procedimiento

1. Inicio de la purga: Abrir las dos válvulas de salida ubicadas en la parte inferior derecha del tanque sedimentador.
2. Tiempo de purga: Mantener las válvulas abiertas durante 30 segundos o hasta que el nivel del agua descienda hasta los paneles del tanque.
3. Verificación: Asegurar que el agua purgada fluya correctamente hacia la zona de pretratamiento de aguas residuales (Florentinos).
4. Cierre y recuperación del nivel:
 - Cerrar las dos válvulas de salida del tanque sedimentador.

- Abrir la válvula del tanque de emergencia para permitir la recuperación del nivel de agua en el tanque sedimentador y garantizar una operación continua.

Figura 11. Fotografía de purgas del tanque clarificador



9.1.2. Limpieza del tanque clarificador (Mensualmente)

Objetivo

Realizar la limpieza mensual del clarificador para garantizar su correcto funcionamiento y evitar la acumulación de sedimentos y flóculos adheridos a los paneles y paredes del tanque.

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad

Condiciones Previas

- La limpieza debe realizarse cuando la planta esté en mantenimiento para evitar interrupciones en el suministro de agua caliente.
- Verificar que el clarificador se encuentra fuera de operación antes de iniciar el procedimiento.

Procedimiento

1. Asegurar la desconexión del sistema:

- A. Cerrar la válvula de entrada de agua a la planta para evitar el ingreso de agua durante la limpieza.
- B. Revisar en el tablero de control que los interruptores (tacos) estén en posición baja y que las bombas se encuentren apagadas.

2. Drenado parcial del clarificador:

Abrir las dos válvulas de salida del clarificador y permitir el vaciado hasta que el nivel del agua descienda 50 cm por debajo de los paneles.

3. Preparación de herramientas y equipos:

Subir al clarificador los implementos de limpieza necesarios:

- Manguera de agua a presión.
- Escobas.
- Esponjillas.

4. Limpieza de los paneles:

- A. Lavar los paneles con agua a presión para remover los flóculos adheridos a las superficies.
- B. Realizar el lavado individualmente en cada panel para garantizar una limpieza completa.

5. Limpieza de las paredes del clarificador:

- A. Con la manguera a presión, enjuagar todas las paredes internas del clarificador.
- B. Utilizar una escoba para refregar las paredes y los bordes de la salida del clarificador, asegurando la eliminación de residuos acumulados.

Observaciones:

- Se recomienda realizar una inspección visual después de la limpieza para verificar la remoción completa de sedimentos.
- Una vez finalizado el procedimiento, cerrar las llaves de salida y restablecer el suministro de agua según los protocolos de operación.

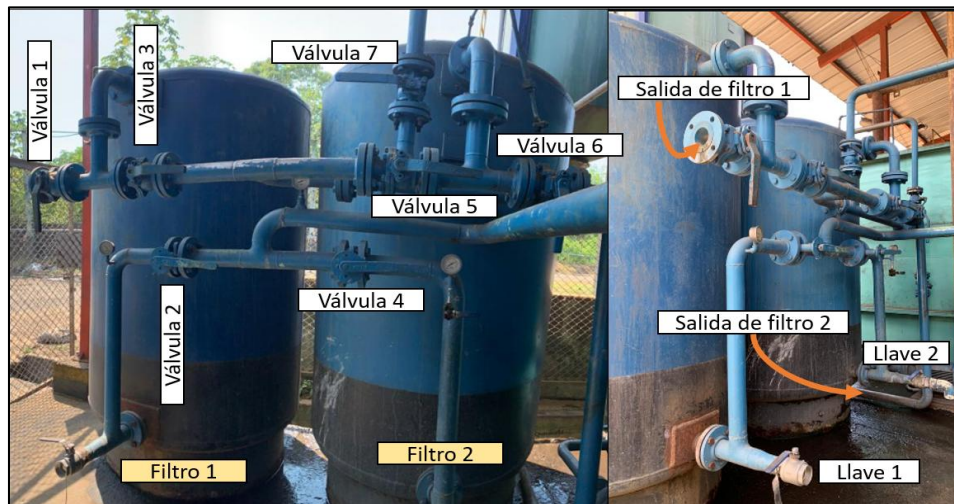
Figura 12. Fotografía de demostración lavado de clarificador.



9.2. Mantenimiento filtros de arena

9.2.1. Retro lavado de filtro 1 (Semanalmente)

Figura 13. Fotografía de filtros de arena de sílice



Objetivo:

Realizar el retro lavado del filtro 1 para eliminar las partículas retenidas, inyectando agua en sentido inverso a su operación normal.

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad
- Guantes de nitrilo gruesos

Condiciones Previas

- Esta labor operativa debe realizarse cuando la planta de extracción de aceite esté en mantenimiento.
- Se debe asegurar que el sistema esté apagado antes de manipular las válvulas.

Procedimiento

1. Configuración inicial de válvulas:

Tomando como referencia la imagen del sistema de filtros, realizar la siguiente configuración:

- A. Abrir válvula 1.
- B. Cerrar válvula 3.
- C. Abrir válvula 2.

2. Activación de la bomba:

Girar la perilla del tablero de control de la bomba de filtros de posición apagado a manual.

3. Ejecución del retro lavado:

Esperar 15 minutos hasta que el agua salga traslúcida por la salida del filtro

1.

4. Restablecimiento del sistema:

- A. Girar la perilla del tablero de control de la bomba de filtros a automático.
- B. Cerrar válvula 1 y abrir válvula 3.
- C. Realizar la purga del filtro, abriendo la llave 1 durante 30 segundos.
- D. Mantener abiertas las válvulas 3 y 2 para continuar con la operación normal.

5. Preparación para el retro lavado del filtro 2:

Una vez finalizado el proceso, el filtro que se sometió al retro lavado se utilizará para el proceso, permitiendo realizar la limpieza del filtro 2.

Nota: No se deben manipular las válvulas de los filtros con el motor encendido.

9.2.2. Retro lavado de filtro 2 (Semanalmente)

Objetivo

Realizar el retro lavado del filtro 2 para eliminar las partículas retenidas, inyectando agua en sentido inverso a su operación normal.

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad
- Guantes de nitrilo gruesos

Condiciones Previas

- Esta labor operativa debe realizarse cuando la planta esté en mantenimiento.
- Se debe asegurar que hay suficiente nivel de agua en el tanque clarificador antes de iniciar el proceso.

- No se deben manipular las válvulas con el motor encendido.

Procedimiento:

1. Verificación del nivel de agua:

- A. Comprobar el nivel de agua en el tanque clarificador.
- B. Si el nivel es insuficiente, esperar hasta alcanzar el volumen adecuado antes de proceder.

2. Configuración inicial de válvulas:

Tomando como referencia la imagen del sistema de filtros, realizar la siguiente configuración:

- A. Cerrar válvula 5.
- B. Abrir válvula 6 y válvula 4.
- C. Verificar que válvula 7 esté cerrada.

3. Activación de la bomba:

- A. Encender la bomba de filtros en función manual.
- B. Esperar 15 minutos o hasta que el agua salga clara por la salida del filtro 2.

4. Restablecimiento del sistema:

- a. Girar la perilla del tablero de control de la bomba de filtros a automático.
- b. Realizar la purga del filtro de arena 2, abriendo la llave 2 durante 30 segundos.
- c. Configurar las válvulas en su estado normal para la operación:
 - i. Abrir válvula 5 y válvula 4.
 - ii. Cerrar válvula 6.

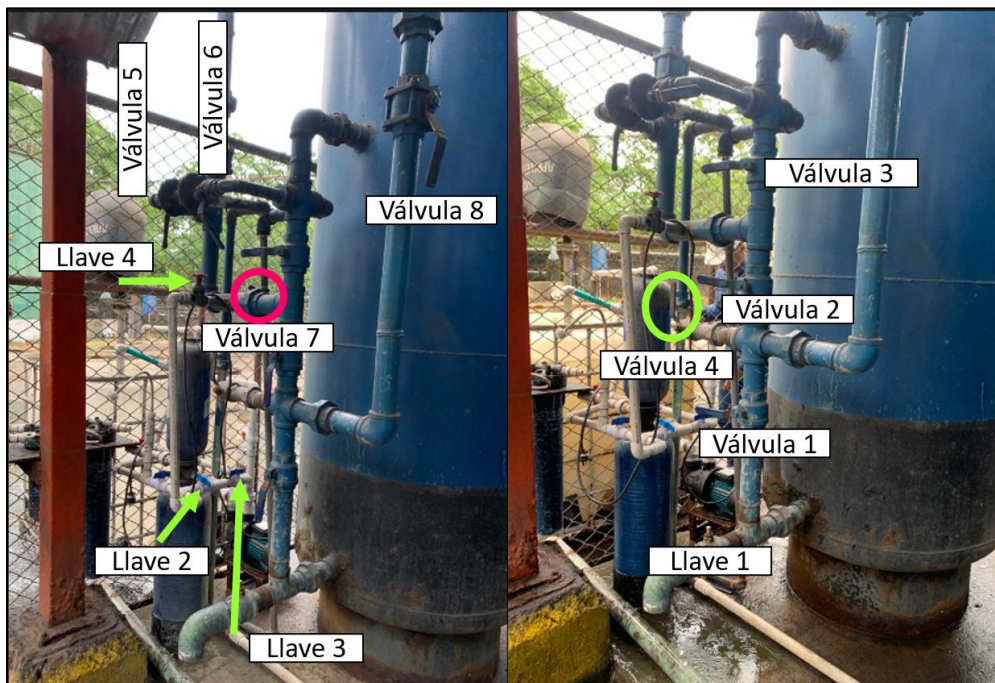
- d. Corroborar que ambos filtros se encuentren óptimos para el funcionamiento del proceso.

Nota: No se deben manipular las válvulas de los filtros con el motor encendido.

9.3 Mantenimiento suavizadores

9.3.1. Regeneración de suavizador 1

Figura 14. Foto suavizador 1.



Objetivo

Realizar la regeneración del suavizador 1 para eliminar la saturación de dureza mediante un proceso de intercambio catiónico con NaCl (Sal Industrial).

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad

- Guantes de nitrilo gruesos

Condiciones Previas

- La regeneración debe llevarse a cabo después de que el equipo haya tratado 900 m³ de agua, ya que, superado este valor, se pueden obtener valores de dureza superiores a 0 ppm en el agua de alimentación de la caldera.
- Antes de iniciar el procedimiento, asegurarse de que todas las válvulas estén en la posición correcta y que la planta esté en mantenimiento.

Procedimiento

1.Retro lavado del Suavizador 1

- A. Iniciar el retro lavado del equipo.
- B. Verificar que las válvulas 5, 6 y 8 estén cerradas.
- C. Configurar las válvulas de la siguiente manera:
 - a. Abrir válvula 1, válvula 2 y válvula 7.
 - b. Cerrar válvula 3.
 - c. Verificar que no haya llaves mal posicionadas que puedan afectar el proceso.
- D. Activar la bomba en modo manual y permitir la expulsión de suciedad durante 15 minutos o hasta que el agua salga transparente.
- E. Apagar la bomba, cerrar válvula 7 y válvula 2, y abrir válvula 3.
- F. Manteniendo la válvula 1 cerrada, abrir la llave 1 para realizar la purga del suavizador durante 30 segundos, luego cerrar la llave.

2.Preparación para la Regeneración

- A. Conectar la tubería proveniente del tanque blanco con la tubería de la bomba de succión y ajustar correctamente.
- B. Verificar que la llave azul del tanque blanco esté cerrada.

- C. Abrir llave 4, llave 2 y llave 3.
- D. Abrir la llave naranja de la tubería de llenado del tanque blanco para permitir la entrada de agua.
- E. Graduar las llaves para evitar que el agua entre con demasiada presión.
- F. Una vez que el tanque blanco esté lleno hasta la mitad, encender el agitador conectándolo al tablero de control del tanque plateado.

Precaución: Asegurarse de que el agitador esté bien ajustado antes de encenderlo para evitar accidentes.

- G. Agregar 3 sacos de sal de 40 kg al tanque blanco.

Introducir uno por uno con intervalos de 20 segundos de agitación entre cada saco.

- H. Completar el llenado del tanque blanco hasta la medida indicada y cerrar llave 2 y llave 3.
- I. Dejar agitar la mezcla durante 5 minutos, luego desconectar el agitador del tablero de control.

3. Inyección de la Salmuera al Suavizador

- A. Abrir válvula 6 y llave 1.
- B. Cerrar válvulas 1, 2, 3, 5, 7 y 8.
- C. Encender la bomba de succión de salmuera y graduar la válvula de entrada naranja para que el proceso dure aproximadamente 30 minutos.

4. Enjuague del Suavizador

- A. Una vez finalizada la succión de salmuera, abrir llave 4, llave 2 y llave 3.
- B. Graduar las llaves para evitar alta presión en la tubería.
- C. Abrir la llave naranja en la salida de la tubería de llenado del tanque blanco.
- D. Realizar un enjuague lento:

- a. Llenar el tanque blanco mientras la bomba succiona el agua nueva, permitiendo un enjuague lento del sistema.
 - b. Asegurar que el proceso dure 30 minutos ajustando la presión del agua.
- E. Una vez finalizado el enjuague lento, cerrar llave 2, llave 3 y llave 4.
- F. Apagar y desenchufar la bomba de succión de suavizadores.

5.Puesta en Operación

- A. Abrir válvula 3 y llave 1.
- B. Mantener cerradas válvulas 1, 2 y 7.
- C. Dejar correr el agua durante 30 segundos.
- D. Cerrar llave 1.
- E. Abrir válvula 1 y válvula 8 para dejar el equipo en funcionamiento normal.

Nota: La regeneración del suavizador debe realizarse cada 900 m³ de agua tratada para evitar la presencia de dureza en el agua de alimentación de la caldera.

9.3.2. Regeneración de suavizador 2

Objetivo

Eliminar la saturación de dureza en el suavizador 2 mediante un intercambio catiónico con NaCl (Sal Industrial).

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad
- Guantes de nitrilo gruesos

Condiciones Previas

- La regeneración debe realizarse después de 700 m³ de agua tratada.
- Se siguen los mismos pasos del suavizador 1, pero manipulando las válvulas correspondientes al suavizador 2.

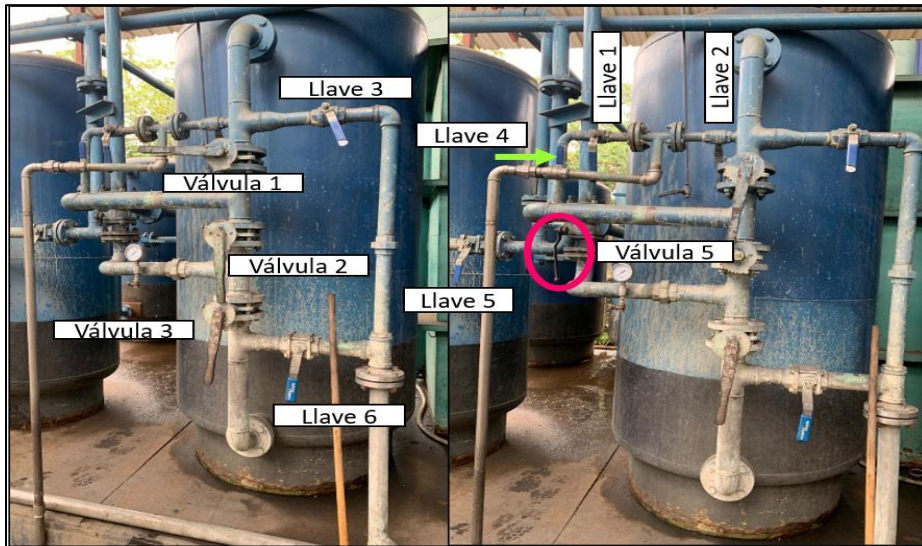
Procedimiento:

1. Retro lavado: Realizarlo siguiendo el mismo procedimiento del suavizador 1.
2. Preparación de salmuera: Llenar el tanque blanco, agitar la mezcla y añadir la cantidad de sal correspondiente, tal como en el suavizador 1.
3. Inyección de salmuera: Configurar las válvulas adecuadas para la succión de salmuera y realizar el proceso durante 30 minutos.
4. Enjuague: Aplicar el enjuague lento y luego el enjuague rápido, asegurando que el equipo quede listo para la operación normal.

Nota: La única diferencia con el suavizador 1 es que la regeneración del suavizador 2 se realiza cada 700 m³ de agua tratada.

9.4. Mantenimiento desilizadores**9.4.1. Regeneración desilizador 1**

Figura 15. Fotografía de desilizador 1.



Objetivo

El desilicador requiere una regeneración periódica con soda cáustica (NaOH) para eliminar acumulaciones de sílice. Este proceso se realiza mediante el método Venturi, basado en los principios de Bernoulli y continuidad de masa, lo que permite la succión de la solución regenerante de manera eficiente.

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad
- Guantes de nitrilo
- Respirador full fase
- Delantal de pvc

Condiciones Previas

Antes de iniciar, se deben verificar las siguientes condiciones:

- Bomba de filtros: Debe estar en automático o apagado.

- Revisión de tuberías y válvulas: Confirmar que no haya fugas y que las conexiones estén seguras.
- Disponibilidad de insumos: Tener listos 3 sacos de 25 kg de soda cáustica, un agitador manual y agua suficiente para la preparación de la solución.

Procedimiento de Regeneración

1. Retro lavado del Desilizador

Este paso elimina impurezas acumuladas en el lecho del desilizador. Se debe seguir el siguiente orden:

- A. Cerrar válvula 1, válvula 5, llave 4, llave 2 y llave 6.
- B. Abrir válvula 2, válvula 3 y llave 3.
- C. Verificar que la bomba de filtros esté en automático o apagado.
- D. Poner la bomba de filtros en manual y dejar retrolavar durante 15 minutos.
- E. Asegurar que el agua de retrolavado sea dirigida a la fosa de descarga, evitando su vertido en fuentes hídricas.

2. Limpieza y Preparación del Tanque de Soda Cáustica

- A. Ubicar el tanque negro cerca del desilizador 1 y conectar la tubería gris de la llave 4.
- B. Abrir llave 1 y llave 4 de manera graduada para lavar el fondo del tanque. Luego, cerrarlas para vaciar impurezas.
- C. Llenar el tanque hasta la mitad. Si se desea llenar más rápido, utilizar la manguera negra del desilizador 2.
- D. Añadir 3 sacos de 25 kg de soda cáustica lentamente al agua.
- E. Completar el llenado del tanque hasta arriba y cerrar llave 4 y llave 1.
- F. Mezclar la solución con un agitador manual durante 5 minutos.

3. Inyección de la Solución Regenerante

- A. Abrir llave 1, llave 2 y llave 6.

- B. Cerrar válvula 1, llave 3 y válvula 3.
- C. Ajustar las llaves para garantizar un flujo uniforme de la solución.
- D. Mantener el proceso de succión durante 30 minutos.

4. Enjuague del Sistema

Después de la regeneración, es fundamental eliminar residuos de soda cáustica con dos enjuagues:

Enjuague Lento:

- A. Cerrar llave 4.
- B. Poner la bomba de filtros en modo manual.
- C. Regular la válvula 2 para un flujo controlado.
- D. Mantener la válvula 5 cerrada.
- E. Dejar fluir el agua por 30 minutos.

Enjuague Rápido:

- A. Abrir completamente la válvula 2 para aumentar la presión y el caudal.
- B. Mantener el sistema igual que en el enjuague lento.
- C. Dejar fluir el agua durante 15 a 20 minutos.

5. Restablecimiento del Sistema

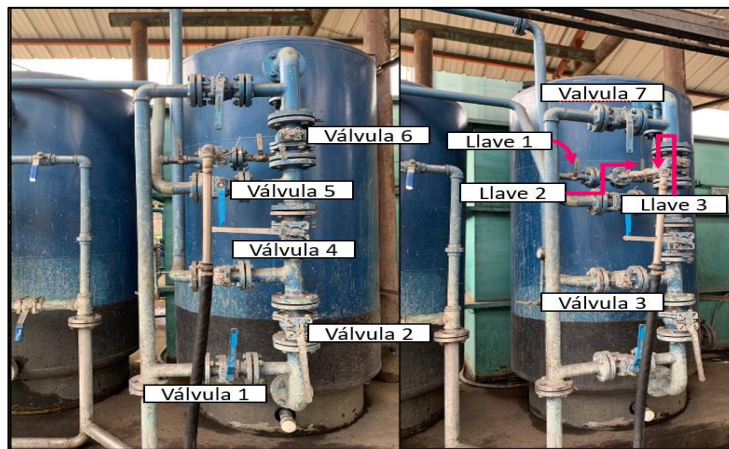
- A. Cerrar llave 1, llave 2, válvula 2, llave 6 y llave 3.
- B. Abrir válvula 3 y válvula 5.
- C. Ajustar las válvulas según el caudal y la presión requeridos.
- D. Configurar la bomba de filtros en modo automático para reanudar la operación normal.

Notas

- **Registro del mantenimiento:** Documentar cada regeneración en un Excel de operación.
- **Manejo seguro de soda cáustica:** Seguir estrictamente las normas de seguridad.
- **Descarga controlada:** Dirigir el agua residual con soda cáustica a la fosa de descarga.

9.4.2. Regeneración desilizador 2

Figura 17. Fotografía del desilizador 2.



Objetivo

Realizar la regeneración del desilizador 2 utilizando soda cáustica mediante el método Venturi, asegurando la eliminación eficiente de la sílice en el agua de alimentación de la caldera.

Elementos de protección personal

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad
- Protectores auditivos
- Casco de seguridad
- Botas de seguridad
- Guantes de nitrilo

- Respirador full fase
- Delantal de pvc

Condiciones Previas

- Verificar que el sistema de filtrado y la bomba de filtros estén en condiciones óptimas.
- Asegurar que el tanque negro esté disponible y limpio para la preparación de la solución de soda cáustica.
- Contar con los insumos necesarios: 3 sacos de soda cáustica (25 kg cada uno) y agua suficiente para la preparación de la solución.

Procedimiento

1. Retro lavado del desilizador

- A. Si no se está requiriendo agua para el proceso, apagar la bomba de filtros. En caso contrario, poner la bomba en modo automático para que continúe el suministro de agua.
- B. Cerrar: llave 1, llave 2, válvula 1 y válvula 6.
- C. Abrir: válvula 2, válvula 4, válvula 5 y válvula 7.
- D. Dejar actuar el retrolavado por 15 minutos.
- E. Activar la bomba en modo manual para completar el proceso de retrolavado.

2. Preparación de la solución de soda cáustica

- A. Ubicar el tanque negro debajo de la manguera negra e introducir la manguera en su interior.
- B. Abrir llave 1 y llave 3 para enjuagar el tanque negro con poca agua y desechar el contenido.
- C. Llenar el tanque hasta la mitad con agua.

- D. Reducir el caudal de **llave 3** para que el llenado sea más lento a partir de este punto.
- E. Agregar **3 sacos de soda cáustica** (25 kg cada uno) al tanque y continuar el llenado hasta la marca indicada en el tanque.
- F. Mezclar la solución con el agitador manual durante **5 minutos**.

3. Regeneración del desilizador

- A. Cerrar: válvula 2, válvula 4, válvula 5 y válvula 7.
- B. Abrir: válvula 6, llave 1, llave 2 y válvula 1.
- C. Graduar llave 3 para que el tiempo de regeneración sea de 30 minutos.
- D. Asegurar que la bomba de filtros esté en modo manual para iniciar la regeneración.

4. Enjuague del sistema

- A. Graduar llave 1 y llave 2 para que el efecto Venturi con la soda sea más lento y permita un llenado más rápido del tanque.
- B. Abrir llave 3 para llenar nuevamente el tanque de agua.
- C. Una vez lleno, mantener la absorción de agua durante 30 minutos.
- D. Cerrar llave 3.
- E. Abrir completamente llave 1 y llave 2 para realizar un enjuague rápido durante 15 minutos.

5. Finalización y puesta en operación

- A. Abrir: válvula 5, válvula 6, válvula 2 y válvula 3.
- B. Cerrar: válvula 7, llave 1, llave 2, válvula 4 y válvula 1.
- C. Ajustar todas las llaves para regular el caudal del agua en la tubería y garantizar la correcta operación del sistema.

Nota

La regeneración del desilizador 2 debe realizarse cuando hayan pasado 300 metros cúbicos de agua, ya que después de este valor pueden presentarse niveles elevados de sílice en el agua de alimentación de la caldera.

Apéndice B. Diagrama del proces

