



Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química.

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Análisis de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación a la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.

Autora: Gretchen Caballero Pérez.

Tutor: Ing. Regla Martha Brito Broche.

Cienfuegos, junio de 2014

Debe evitarse hablar a los jóvenes del éxito como si se tratase del principal objetivo en la vida. La razón más importante para trabajar en la escuela y en la vida es el placer de trabajar, el placer de su resultado y el conocimiento del valor del resultado para la comunidad.

Albert Einstein

Dedicatoria:

A Mimi, porque gracias a ella me he convertido en la persona que soy hoy, por darme siempre su amor y por cuidarme desde el cielo.

A mi papá y a mi mamá por su apoyo y ayuda incondicional, por darme siempre su amor y dedicarme sus días.

A mi tía Yisel por hacerme saber que puedo contar con ella, por ser mi ejemplo y por enseñarme a hacer una mejor persona cada día.

Agradecimientos:

A mis padres, a mi tía y mi hermano por su gran ayuda, amor y constante dedicación durante estos años.

A mis abuelos y mis primas Yuly y Yilian por brindarme siempre su apoyo y su cariño.

A Rosario porque a pesar de ser tan diferentes siempre pude contar con su ayuda incondicional y su amistad, siempre va a ocupar un pedacito de mi corazón.

A Evelin, Liset, Lisbet y Yuniesti por su ayuda y su amistad de siempre.

A Leydis y Daineris por escucharme hasta tan tarde y por tener a veces las palabras sabias que necesitaba escuchar.

A todas las chicas de mi cuarto por haber compartido bonitos momentos y por hacernos compañía tantas noches de estudio.

A todos los profesores que influyeron en mi formación profesional, especialmente al profesor Wilfredo Francisco por su ayuda.

A mi tutora Martha por toda la ayuda y el tiempo brindado.

Resumen

Es importante mantener un tratamiento adecuado al agua usada en la generación de vapor en la industria, un mal tratamiento de la misma traería como consecuencias las incrustaciones en el interior de la caldera, la formación de espuma y arrastres de vapor. La planta de tratamiento químico de agua de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos no cuenta con el ciclo ácido tratamiento mediante el cual se eliminar la alcalinidad del agua.

En el trabajo se analizó la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación a la caldera. Se realizó un estudio de la situación actual de la planta de tratamiento químico, describiendo los principales problemas que esta presenta, así como un levantamiento de equipos en la misma. Mediante un análisis estadístico se analizó el comportamiento de los parámetros medidos en el agua de caldera y el condensado, si estos se encuentran en las condiciones que establecen las normas y bajo qué circunstancias cumplen con ellas, para este análisis se utilizó el Microsoft Excel. Se calculó el porcentaje de purga que se mantiene en la caldera y a partir del valor obtenido se determinó la energía perdida por este concepto. Fue calculado el costo económico total a partir de lo que se pierde en agua purgada y el combustible utilizado. Se propuso como mejoras al proceso de tratamiento de agua la restauración del ciclo ácido, la propuesta de una planta de Osmosis inversa y la reactivación del sistema de depuración de condensado.

Palabras clave: tratamiento de agua, alcalinidad, planta de Osmosis inversa.

Abstract

It is important to maintain an adequate treatment to the water used in steam generation in industry, poor treatment of it would bring about consequences scale inside the boiler, foaming and steam trawling. The chemical treatment plant water Cienfuegos Oil Refinery has no treatment acid cycle by which water alkalinity is removed.

At work the influence of the high alkalinity in the water supply to the boiler is analyzed. A study of the current situation of the chemical treatment plant, describing the main problems that this presents, as well as lifting equipment on the same was done. By statistical analysis the behavior of the parameters measured in the boiler water and condensate was analyzed, if they are in the conditions that set the standards and under what circumstances meet them, for this analysis we used the Microsoft Excel. Purge the percentage remains in the boiler and the value obtained from the energy lost by this concept was determined was calculated. I calculated the total economic cost from what is lost in purge water and fuel used. Was proposed as improvements to water treatment process restoring acid cycle, the proposed Reverse Osmosis plant and reactivation of condensate purification system.

Keywords: water treatment, alkalinity, reverse osmosis plant.

Índice.	
Introducción.....	1
Problema científico.....	2
Hipótesis	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Capítulo I. Análisis de la Literatura.....	4
1. El agua, propiedades e impurezas.	4
1.1. Importancia del agua en la industria	4
1.2. Propiedades del agua.	4
1.2.1. El pH.....	4
1.2.2. Alcalinidad.	5
1.2.3. Conductancia específica (conductividad).....	5
1.3. Principales impurezas del agua natural	6
1.3.1. Inconvenientes que producen las impurezas del agua.	7
1.3.2. Formación de incrustaciones.	8
1.3.3. Corrosión.	10
1.3.4. Formación de espumas.	10
1.4. Tratamiento de agua en generadores de vapor.	11
1.4.1. Generador de Vapor o Caldera.....	11
1.4.2. Métodos de eliminación de impurezas en las aguas para calderas.	11
1.4.2.1. Tratamiento físico.	12
1.4.2.2. Tratamiento químico.	13
1.5. Tipos de procesos de intercambio iónico, según las características de la caldera.	18
1.5.1. Ablandamiento.	18
1.5.2. Desmineralización Parcial.....	19
1.5.2.1. Descripción del proceso de desmineralización parcial.....	19
1.5.3. Desmineralización Total.....	20
1.5.3.1. Segunda alternativa para el proceso de desmineralización total.	21

1.5.4. Proceso en caldera con una presión de trabajo desde 10 MPa hasta 15 MPa o mayores.....	22
1.5.5. Generación de las resinas de intercambio iónico.....	23
1.6. Operación de las calderas.	23
1.6.1. Generación de vapor.	23
1.6.2. Purga de la caldera.....	24
1.6.3. Purga de fondo.	24
1.6.4. Purga continua.....	25
Conclusiones Parciales.....	26
Capítulo II. Descripción del tratamiento de agua en las calderas de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.	27
2. Función y descripción del sistema en estudio.	27
2.1. Características generales del complejo casa de caldera.	27
2.2. Descripción del proceso tecnológico de la planta de tratamiento químico de agua para el ciclo sodio.	29
2.3.1. Facilidades de reactivos. Nudo de sal común. Descripción del proceso de Regeneración de los filtros de Na-Cationita.....	31
2.4. Proceso de tratamiento interno al agua de alimentación a las calderas.	32
2.5. Principales problemas que presenta el tratamiento de agua en la Refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.	33
2.5.1. Levantamiento de equipos y aparatos obtenido mediante una inspección realizada a la planta de tratamiento químico de agua, específicamente en el área del ciclo ácido.	33
2.5.2. Levantamiento de equipos y aparatos obtenido mediante una inspección realizada a la planta de tratamiento químico de agua, específicamente en el sistema de depuración de condensado.	36
2.6. Métodos de ensayos utilizados en el laboratorio para el análisis del agua.	38
2.6.1. Descripción de los métodos de ensayos utilizados para el análisis de las muestras de agua.	38
2.6.1.1. Alcalinidad total.....	38
2.6.1.2. Dureza total.....	40
2.6.1.3. Cloruros.	42

2.6.1.4. Conductividad.....	43
2.6.1.5. pH.....	45
Conclusiones Parciales.....	47
Capítulo III. Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.....	48
3. Valoración de los análisis químicos realizados en el sistema de tratamiento de agua de las calderas.....	48
3.1. Descripción del registro de datos.....	52
3.1.1. Resultados de los análisis realizados en el laboratorio al agua inicial (agua potable).....	68
3.1.2. Valoración de los resultados de alcalinidad total obtenidos en los análisis de laboratorio realizados al agua inicial (agua potable) y agua de alimentación a la caldera.....	70
3.1.3. Consideraciones generales de los análisis realizados en el laboratorio.....	73
3.2. Valoración de los parámetros de operación.....	74
3.2.1. Temperatura.....	74
3.2.2. Presión.....	74
3.2.3. Flujos.....	74
3.3. Inspecciones realizadas a las calderas.....	74
3.3.1. Responsables de las inspecciones y mantenimientos de las calderas de vapor.....	74
3.3.2. Tipos de inspecciones realizadas.....	75
3.3.2.1. Inspección externa.....	75
3.3.2.2. Inspección interna.....	76
3.3.2.2.1. Intervalos de inspección interna.....	76
3.3.2.2.2. Trabajos que incluyen la inspección interna de la caldera.....	76
3.3.3. Prueba hidráulica.....	77
3.4. Cálculo del porcentaje de extracciones en la caldera y determinación de la energía pérdida en las mismas.....	78
3.4.1. Cálculo del porcentaje de extracciones en la caldera.....	78

3.4.2. Determinación de la energía pérdida por extracciones.....	78
3.5. Evaluación Económica por pérdidas de agua y combustible causado por el exceso de purgas en las calderas.....	79
3.5.1. Evaluación del costo económico del agua que se pierde en el exceso de purgas en las calderas.....	79
3.5.2. Evaluación del costo económico del combustible que se pierde por exceso de purgas.	80
3.5.3. Costo económico total por exceso de purgas.	81
3.6. Propuestas de mejoras al sistema de tratamiento químico para la disminución de alcalinidad del agua de alimentación en la caldera.	81
3.6.1. Tratamiento de desmineralización parcial, (ciclo ácido).....	81
3.6.2. Restauración del sistema de depuración de condensado.....	82
3.6.3. Propuesta de una planta de osmosis inversa.	83
Conclusiones parciales.	84
Conclusiones generales	85
Recomendaciones.....	87
Bibliografía	88
Anexos	

Introducción

La forma tradicional de suministrar energía calorífica a diversas zonas de un complejo industrial, es la generación de vapor mediante el uso de calderas de diversos tipos. El vapor es necesario para diferentes procesos en toda industria química, y la industria petrolera no queda ajepta. El vapor se usa principalmente para el despojamiento en las torres de destilación, para transferir calor en los intercambiadores de calor, atomización en los quemadores de los hornos y para la limpieza de líneas y equipos.

El agua cruda es la principal fuente de alimentación a calderas, si esta agua se ajustara al término de “agua pura”, no haría falta ningún tipo de tratamiento. Desafortunadamente, todas las aguas naturales contienen diferentes impurezas, materia disuelta o en suspensión, las cuales se hace necesario eliminar parcial o totalmente, a fin de que el agua se pueda utilizar en los procesos industriales.

Las principales impurezas de las aguas naturales se pueden clasificar en tres grupos.

1. Materias disueltas (cationes y aniones)
2. Materias en suspensión (no iónicas)
3. Gases disueltos.

En el primer grupo encontramos las sales de calcio y magnesio. En el segundo grupo se tiene cualquier elemento que causa turbidez en el agua, por lo general algún tipo de lodo. En el tercer grupo está el oxígeno, el dióxido de carbono y otros.

Para poder usar esta agua en la generación de vapor se deben eliminar toda impureza y contaminantes contenida en la misma, esto se logra mediante tratamientos adecuados, los cuales pueden ser clasificados en: tratamientos externos que incluyen todos aquellos que convencionalmente pueden ser aplicados al agua bruta de alimentación, como la desgasificación y el suavizado, además tratamientos internos que comúnmente comprenden todas las dosificaciones de productos químicos que acondicionan el agua ya tratada con la

que se pretende alimentar la caldera. A fin de evitar el tratamiento inadecuado de las aguas de caldera, surge la necesidad de establecer un plan de tratamiento que asegure la calidad del agua.

El tratamiento del agua de una caldera de vapor es fundamental para evitar problemas como corrosión, formación de incrustaciones, depósitos y arrastre en el vapor.

Problema científico

La alta alcalinidad del agua no puede ser controlada por un tratamiento químico al no contar con el Ciclo Ácido dentro de la planta, lo que conlleva al aumento de la purga en las calderas y la poca calidad del vapor generado, que trae como consecuencia grandes pérdidas de agua, la pérdida de energía y la corrosión en líneas por el CO₂ presente en el vapor.

Hipótesis

Con un tratamiento de eliminación de alcalinidad en el agua de alimentación a la caldera, se disminuyen los altos niveles de extracciones en la misma, las pérdidas de calor y mejora la calidad del vapor.

Objetivo General

- Analizar la influencia que tiene la no eliminación de la alcalinidad en el agua de alimentar a la caldera en el proceso de generación de vapor y aguas abajo.

Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio en la literatura acerca de las impurezas y características del agua, así como los tratamientos de la misma para la generación de vapor.

2. Describir el tratamiento de agua de las calderas en la Refinería de Petróleo de Cienfuegos.
3. Analizar la situación actual de la planta de tratamiento químico de agua.
4. Analizar mediante gráficos de control los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas a los parámetros medidos en el agua de caldera y el condensado.
5. Realizar el cálculo del porcentaje real de purgas en la caldera.
6. Realizar el cálculo de la energía perdida por conceptos de purgas.
7. Realizar un estudio económico de las pérdidas de agua y combustible que tiene la planta causados por los altos porcentajes de purgas.
8. Proponer mejoras en la planta de tratamiento químico de agua, mediante las cuales se eliminen la alcalinidad.

Capítulo I. Análisis de la Literatura.

1. El agua, propiedades e impurezas.

1.1. Importancia del agua en la industria

Antiguamente los filósofos tenían como criterio que el agua era la sustancia original de donde se generaban todas las demás cosas. Hoy en día se sabe que eso no es del todo cierto, pero sí se sabe a ciencia cierta que el agua es un elemento vital para el desarrollo de la vida e indispensable en diversos sectores industriales, como por ejemplo en la generación de vapor.

Actualmente, el papel que cumple el agua en las industrias tiene gran importancia, ya que éstas, usan un porcentaje considerable del agua mundial en procesos tales como la refrigeración, evaporación, como disolvente, como complemento para sus productos, como agua potable para el uso diario de los empleados, entre otros. Ahora bien, es necesario tener en cuenta, que para obtener el máximo aprovechamiento del agua en dichos procesos, se debe necesariamente pasar por técnicas de tratamiento y filtración que permiten lograr purificar, potabilizar e incluso modificar características internas del agua a utilizar. [\(Moreno Benavides, Jose alberto, 2011\)](#)

1.2. Propiedades del agua.

1.2.1. El pH

El pH es una propiedad del agua, no una impureza o contaminante. Tanto el agua pura como el agua contaminada tienen pH, el cual en muchos casos puede ser similar por lo tanto, el pH no es un indicador de pureza.

El pH del agua o de cualquier líquido, es una medida de relativa acidez o alcalinidad. Un pH 7.0 es neutro, no es ni ácido ni alcalino. Valores de pH menores de 7.0 son gradualmente más ácidos y valores de pH superiores a 7.0 son gradualmente más alcalinos. Es conveniente que se quede claro que el pH no es un equivalente de la alcalinidad, sino solo un indicador relativo de la misma. El

pH del agua es realmente una medida de las cantidades relativas de iones H^+ y OH^- presentes en dicha muestra.

El control de pH es importante para mantener las condiciones deseables del agua en un área específica. En general, se puede decir que el agua con un pH bajo (menor de 7.0) es más corrosiva que una que tiene un pH alto (mayor de 7.0). Sin embargo conforme aumenta el pH del agua, mayor es la tendencia para formar incrustaciones. Por lo tanto, un cambio de pH, ya sea para abajo o hacia arriba del pH recomendado para un sistema en particular, puede causar problemas.

1.2.2. Alcalinidad.

La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para absorber o neutralizar ácido. Entre mayor sea la alcalinidad, mayor es la capacidad para neutralizar ácido. El agua con muy baja alcalinidad tiene muy poca capacidad para neutralizar ácido.

La alcalinidad en el agua está dada por los minerales disueltos en ella. Compuestos de calcio y magnesio en forma de bicarbonatos que son los principales contribuyentes.

Por lo general se acepta considerar la alcalinidad como efecto de la presencia de iones bicarbonato, carbonato. El contenido de alcalinidad excesivamente alta en el agua de alimentación de calderas, no es deseable, ya que esto provocará la presencia de alta cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en el vapor. El dióxido de carbono provoca corrosión en las tuberías de vapor y condensado.

La alcalinidad del agua de caldera deberá ser suficientemente alta para proteger el metal de la corrosión ácida, sin ser tan excesivamente alta una condición de arrastre en el vapor provocado por la formación de espuma.

1.2.3. Conductancia específica (conductividad).

La conductancia de una determinada muestra de agua, es una medida de capacidad para conducir una corriente eléctrica, y consecuentemente es también un indicador de la totalidad de sólidos disueltos en esa agua.

La prueba o determinación de conductividad no mide la presencia de ningún ión (átomo o grupo de átomos que llevan una carga eléctrica) en particular sino más bien una medida de la concentración total de iones. Por esta razón, la conductividad del agua de la caldera se utiliza como un método de control de purga, ya que da una idea aproximada de la totalidad de sólidos disueltos.

El agua pura, destilada o condensado, tendría una conductividad de unos pocos micromhos, tal vez de 2 a 10 mientras que el agua de caldera tendrá una conductividad de mil o más microhhos. La conductividad es una indicación de la cantidad de sólidos disueltos presente. (VAPEN.SA, 2010)

1.3. Principales impurezas del agua natural

El agua que usa el hombre, no se encuentra en estado puro, como se conoce desde el punto de vista químico, se puede considerar como $H_2O + x$, donde x es el conjunto de impurezas, las cuales se clasifican en: Suspensión sólida con tamaño de partículas entre 50 mm y 1μ , soluciones y suspensiones coloidales con tamaño de partículas desde $0,001\mu$ hasta $0,1\mu$, la dispersión del tipo iónica y/o molecular con dimensiones de las partículas son menos de $0,001\mu$ y no son capaces de depositarse por sí misma y crecimientos biológicos de diferentes tamaños que van desde algas, hongos, virus, bacterias, protozoos, etc.

En la Tabla 1.1. Se muestran los principales tipos de impurezas del agua.

Tabla # 1.1 Tipos de impurezas presentes en las superficiales y subterráneas. (Francisco Martín, Francisco, López Bastida, Eduardo, & Monteagudo Yanes, José Pedro, 2007)

	Tipos de impurezas	Tamaño	Características
1	Suspensión sólida	Desde 50 mm hasta 1μ	Formada por arena, arcilla y sustancias orgánicas arrastradas por la lluvia o las corrientes de agua.
2	Impurezas coloidales	Desde 1μ hasta $0,001\mu$	Impurezas coloidales están formadas, fundamentalmente, por compuestos de silicio, aluminio y

			hierro.
3	<p>Dispersión molecular e iónica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Moléculas de gases • Moléculas de sales • Moléculas de ácidos • Moléculas alcalinas • Cationes • Aniones 	Menores de 0,001µm	<p>O₂ , NH₃, N₂, SH₂, CO₂ CaHCO₃, NH₄Cl, NaAC HAc, H₂CO₃, H₃PO₄ NH₄OH, H⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺ OH⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻</p>
4	<p>Crecimientos biológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reino Vegetal 	Desde tamaño microscópicos hasta macroscópicos.	Hongos. Sombrerillo
	<p>Células microscópicas que carece de envoltura nuclear</p>		<p>Algas: verdes, azules y carmelitas. Bacterias. Sulfato reductoras, productoras de ácidos, depositadoras de metal, formadoras de babaza, nitrificantes.</p>
	<p>Protistas son unicelulares pero poseen envoltura celular.</p>		Amebas y giardias
	<p>Los metazoos</p>		Esponjas, escaramujos, etc.

1.3.1. Inconvenientes que producen las impurezas del agua.

Las impurezas del agua producen diferentes inconvenientes en el uso cotidiano, entre los principales son: suciedades, incrustaciones en superficies, corrosión en superficies metálicas, formación de espumas y los organismos patógenos causan diferentes enfermedades.

1.3.2. Formación de incrustaciones.

Las diferentes impurezas contenidas en el agua producen en condiciones determinadas deposiciones o incrustaciones que pueden causar disminución de la transferencia de calor, incremento de la energía de bombeo por disminución del área de trabajo y corrosión en las superficies metálicas, etc.

Las formas de deposiciones se puede clasificar en deposiciones primarias, producidas por precipitaciones de sales que alcanzan el punto de saturación y deposiciones secundarias que se incluyen el resto, entre ellas las más frecuentes son por deposiciones de lodos en superficies calientes y crecimientos de microorganismos.

Las incrustaciones primarias se forman comúnmente en las superficies de calentamiento, las cuales se pueden dividir, según las sustancias químicas que las componen en:

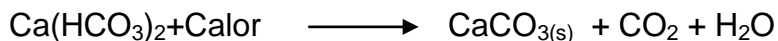
- Incrustaciones alcalinas térreas
- Incrustaciones ferrosas.
- Incrustaciones cúpricas.
- Incrustaciones de sílice.

✓ Las incrustaciones alcalinas térreas.

Las incrustaciones alcalinas térreas se forman en los casos, cuando en el agua (se acelera la precipitación de las impurezas con el aumento de la temperatura del agua) se encuentran a la vez cationes de calcio y magnesio y aniones carbonatos, sulfatos y silicatos, con los cuales se forman los compuestos insolubles de carbonato de calcio y magnesio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y de magnesio, silicato de calcio y magnesio.

De estas sales las más incrustantes por presentar muy baja solubilidad son los carbonatos de calcio y de magnesio que no están presentes generalmente como tal, sino que se producen al descomponerse los bicarbonatos correspondientes

por efecto del calor. Produciendo además CO₂ que acompañando al vapor resulta altamente corrosivo para las líneas de condensado si no se toman las medidas técnicas adecuadas.



Las acciones preventivas para evitar las deposiciones consistentes en la disminución de las impurezas incrustantes presente en el agua antes de entrar en los procesos y las correctivas la limpieza de estos depósitos sobre la superficie metálica, por medios mecánicos y químicos. Las aplicaciones de estas acciones preventivas y correctivas para evitar los inconvenientes de dichas impurezas revisten gran importancia en los procesos de generadores de vapor.

✓ **Incrustaciones ferrosas.**

Las costras de óxido de hierro, fundamentalmente de Fe₂O₃ y FeO se forman cuando no estén presentes en el agua de alimentación los metales alcalinos férricos cuando aparecen por desprendimiento de los productos de corrosión. En los generadores de vapor pueden surgir las incrustaciones fosfato-férricas como resultado de un régimen químico deficiente. Las más frecuentes son los fosfatos ferrosos y fosfato de hierro sodio. El óxido de hierro conocido como magnetita Fe₃O₄, es útil su formación como una fina película en los generadores de vapor para evitar la corrosión. La capa de magnetita se forma con la adición de oxidante fuerte como nitrito y se mantiene con la adición permanente de un medio alcalino, que mantenga el pH alrededor de 11.

✓ **Incrustaciones cúpricas**

Las costras de óxido de cobre, fundamentalmente de CuO y Cu₂O se forman cuando estén presentes en el agua de alimentación o cuando aparecen por desprendimiento de los productos de corrosión. No son muy frecuentes en las instalaciones, pero su presencia en las calderas en las etapas de lavado químico son muy dañinas, porque aceleran la corrosión ácida.

✓ **Incrustaciones de sílice**

Otra incrustación importante y más difícil de eliminar es la de sílice, muy peligrosa en los sistemas de vapor de alta presión. La sílice se elimina modernamente por intercambio iónico del agua. El principal problema de la sílice es su presencia en las turbinas que pueden hasta desbalancearlas.

1.3.3. Corrosión.

Las pérdidas que se producen por la acción del medio corrosivo aparecen reflejadas en toda la literatura especializada, y de forma general se caracterizan por las pérdidas directas y las indirectas que se producen.

Las pérdidas directas son las relacionadas con el recambio de los equipos, estructuras y accesorios, mientras que las indirectas están relacionadas con las pérdidas en la producción, productos dañados y tiempo de parada debido a estos trabajos.

En Cuba estas pérdidas son cuantiosas, pudiendo citar la corrosión de tuberías por el uso de agua muy agresiva y en las calderas.

1.3.4. Formación de espumas.

Otro de los inconvenientes que trae consigo las impurezas del agua es la formación de espuma que es indeseable en cualquier sistema de agua y generalmente se asocia a la presencia de sólidos disueltos por encima de los normados para el sistema, presencia de álcalis o de grasa.

En un sistema de producción de vapor es donde la formación de espuma tiene un efecto más catastrófico porque incide directamente en los arrastres de aguas de caldera que se incorporan al vapor. En generadores de vapor equipados con sobrecalentadores esto aumenta el sobrecalentamiento en los mismos y los fallos en los tubos del equipo sobrecalentador. Para evitar las espumas se controlan los sólidos, la alcalinidad, los ingresos de grasas y otros. Las medidas correctivas son el control de estos parámetros anteriores así como el uso de antiespumantes y minimización de los productos de corrosión en circulación. Los agentes químicos antiespumantes reducen el consumo de combustible significativamente por

permitir bajar las extracciones produciendo un vapor de alta calidad. Poliglicoles y poliamidas son agentes típicos utilizados con éste fin. (Francisco Martín, Francisco et al., 2007)

1.4. Tratamiento de agua en generadores de vapor.

1.4.1. Generador de Vapor o Caldera.

La caldera es un recipiente cerrado en el cual, el calor producido al quemar combustible, transforma en vapor a presión. El vapor se forma cuando el agua se calienta a su temperatura de ebullición. El calor es producido al quemarse combustible, el cual puede ser algún derivado del petróleo, cascarilla de algún tipo de semilla, fibra, bagazo de caña, madera etc. El diseño de las calderas permite que por lo general el combustible se queme por completo y que una gran parte del calor producido se aproveche para calentar agua y producir el vapor.

La instalación comprende no sólo la caldera propiamente dicha, sino, además, componentes principales y accesorios tales como:

- Desareadores
- Economizadores y chimeneas.
- Sobrecalentadores y recalentadores.
- Quemadores y alimentadores de aire.
- Condensadores.
- Bombas y tanques de alimentación.
- Domos.

En la caldera propiamente dicha se produce el calentamiento, la evaporación y posiblemente el recalentamiento y sobrecalentamiento del vapor. La caldera puede incluir en su estructura alguna de los componentes citados. (Cala Cala, Jazmin Julieth & Ayala Cardenas, Fernando, 2005)

1.4.2. Métodos de eliminación de impurezas en las aguas para calderas.

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico, cuya finalidad es la eliminación o reducción de la

contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

El tratamiento de agua permite acondicionar el agua al uso adecuado, éste dependerá también de la composición del agua en la fuente de origen y del proceso requerido en que se utilizará. **(Dr. Wilfredo Francisco Martín, 2009)**

El programa de tratamiento de aguas para la producción de vapor apunta a controlar un grupo de parámetros o variables sensibles, clasificadas como: sólidos suspendidos, materia orgánica, dureza, alcalinidad, sílice, sólidos disueltos y gases. La tabla # 2 muestra los límites óptimos para las condiciones del agua de alimentación a caldera según la presión a la que estas trabajen.

Tabla # 1.2. Especificaciones generales para los límites máximos del agua de caldera según la presión que esta trabaje. **(Cala Cala, Jazmin Julieth & Ayala Cardenas, Fernando, 2005)**

PRESION (psig)	S.S (ppm)	S.S (ppm)	S.D (ppm)	ALCALINIDAD			DUREZA *hf	SILICE (ppm)	CO ₂ (ppm)	O ₂ (ppm)	MAT ORG. (ppm SiO ₂)	pH	SULFITO (ppm SO ₃)
				TOTAL (ppm)	OH (ppm)	CO ₃ (ppm)							
0-300	4000	15	700 - 3500	700	450	250	<1	150	<20		<10	9.5-11.5	30
301-450	3500	10	600 - 3000	600	400	200	<0.1	90	<20		<10	8	25
451-600	3000	8	500 - 2500	500	350	150	<0.05	40	<20		<10	.	20
601-750	2250	3	200 - 1000	400	275	125		30	<1	<0.02	<5	.	20
751- 900	1750	2	150 - 750	300	200	100	<0.01	20	<1		<5	9.5	15
90 -1000	1250	1	125 - 625	200	155	75		8	<1				10
1001- 1500	400	1			N.E			2.5	<1				

Para obtener agua con las especificaciones anteriores, el agua cruda se somete a dos tipos de tratamientos: tratamiento externo (compuesto de un tratamiento físico y uno químico), y tratamiento interno.

1.4.2.1. Tratamiento físico.

Los procesos físicos son aquellos que predominan la acción de las fuerzas físicas y se conocen como operaciones físicas unitarias, las más importantes para el tratamiento de calderas son los siguientes: sedimentación, filtración y aireación.

❖ **Sedimentación**

La sedimentación es la deposición de partículas que se encuentran en suspensión en el agua, tanto si se trata de partículas bruta (conocida como sedimentación natural), como si deben a la acción de un reactivo químico añadido artificialmente (coagulación, eliminación de hierro, suavización química, etc.).

❖ **Filtración Mecánica**

La filtración mecánica se puede definir como el proceso por el cual se separa la materia suspendida, mediante el paso del agua a través de una capa porosa (generalmente arena) que retiene las partículas en suspensión. La filtración puede ser natural o artificial. La filtración artificial puede hacerse por medio de filtros de arena por gravedad, a presión y a vacío.

❖ **Aeración**

La aeración es un proceso, en el cual consiste íntimamente mezclar agua con aire de alguna manera. La mezcla puede hacerse en forma de pequeñas películas, gotas y/o spray orgánica.

El método de aeración por desgasificación elimina fundamentalmente CO_2 , cuando el aire se pone en contacto con el agua el CO_2 es arrastrado por fenómeno desorción. Este tratamiento es utilizado después de los cationitos, ya que las aguas son ricas en ácido carbónico y CO_2 y permite de una forma económica eliminar los aniones carbonatos y bicarbonatos que en la desmineralización serían necesarios entonces intercambiarlos en los anionitos fuertes. Se aplica en los tratamientos externos de desmineración por intercambio iónico por desmineralización parcial y total.

1.4.2.2. Tratamiento químico.

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes con la adición de productos químicos gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas se conocen con el nombre de procesos químicos

unitarios, entre los cuales se puede encontrar la precipitación química, desoxigenación química, intercambio iónico, electrodiálisis y osmosis inversa.

❖ **Suavización por precipitación**

La suavización por precipitación consiste en la eliminación de los cationes formadores de incrustaciones por medio de la adición de reactivos químicos como hidróxido de cal y de sodio, carbonato de sodio y fosfatos, cuyos aniones forman sales insolubles con los cationes de calcio y magnesio. Estas sales son: carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, fosfato de calcio y fosfato de magnesio, las cuales son eliminados en los filtros y en las extracciones de los equipos. Estos métodos por precipitación tienen baja eficiencia no mayor del 70 %, por lo cual se usa combinado con otros métodos.

❖ **Desoxigenación química**

La desgasificación química tiene el objetivo de disminuir el contenido de oxígeno en algunos procesos para disminuir la corrosión de las instalaciones metálicas. Se puede hacer con un reductor fuerte, los más usados son el sulfito de sodio y el hidrato de hidracina.

El sulfito de sodio tiene las desventajas de producir sulfato de sodio. Se aplica solamente a generadores de vapor de baja presión.



El hidrato de hidrazina es muy utilizado en las calderas de alta presión, porque no produce impurezas dañinas.



El nitrógeno es un gas inactivo que puede ser eliminado en la desgasificación térmica.

❖ **Osmosis inversa.**

El principio físico-químico de la ósmosis inversa o hiperfiltrado es semejante a la ósmosis natural, por la cual en un sistema natural formado por dos soluciones de diferentes concentraciones, separadas por una membrana porosa, se establece un

movimiento de moléculas para establecer el equilibrio debido a diferentes presión osmótica que presentan. Para realizar la ósmosis inversa se debe elevar la presión en la sección de alta salinidad por encima de la osmótica, con lo cual se logra que las moléculas de agua se difundan hacia la sección de agua limpia y que aumente la concentración de la solución salina.

Entre las ventajas que presenta este proceso se encuentran las siguientes:

- Agua de alta pureza.
- Fácil de instalar y expandir.
- Simple operación.
- No genera efluentes agresivos.
- Ambientalmente amigable.
- No requiere regeneraciones.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.

Es por estas ventajas que la primera pregunta que se plantea en el diseño de una planta de tratamiento de agua, es si debe instalarse un sistema de intercambio iónico, o un sistema de tratamiento por ósmosis inversa. Las principales condicionantes de la respuesta serán factores económicos, en lo que se refiere a costos de inversión y operativos, y otros requerimientos como el desecho de químicos y agua de rechazo. En muchos casos, la familiaridad con alguna de las tecnologías puede ser también un factor importante en el proceso de decisión.

❖ **Intercambio iónico.**

El método de tratamiento por intercambio iónico se basa en la capacidad que poseen ciertas sustancias, llamadas ionitos, de variar el sentido deseado la composición iónica del medio. Los ionitos pueden intercambiar cationes (cationitos) o aniones (anionitos), en la actualidad hay numerosas firmas comerciales que fabrican diferentes tipos de ionitos.

Para lograr el tratamiento del agua por intercambio iónico, se hace pasar ésta a través de una masa intercambiadora. Al cruzar por entre los granos del ionito, el

agua intercambia parte de los iones de los electrolitos disueltos en ella con una cantidad equivalente de iones del ionito, por lo cual se cambia la composición iónica del agua y del propio ionito.

El tratamiento del agua por los métodos de intercambio iónico se diferencia de los de precipitación en el hecho de que estos no se forman lodo y que no exigen la dosificación permanente de reactivos químicos. Esto conduce que las instalaciones de tratamiento por intercambio iónico sean más sencillas, con menos volumen de aparatos y se obtenga un efecto en el tratamiento superior a los obtenidos con los métodos de precipitación.

La capacidad de los ionitos para el intercambio iónico se explica por su estructura específica, que consiste en una red molecular sólida no soluble en agua, a la cual en distintos lugares, tanto en la superficie como en su interior, está, unidos grupos funcionales de átomos del ionito químicamente activos. Como resultado de la disociación electrolítica del ionito, alrededor del núcleo no soluble en agua se forma una atmósfera iónica, la cual es un espacio limitado alrededor de la molécula del ionito en el que iones móviles y capaces de intercambiarse. El intercambio iónico permite suavizar el agua (eliminación de calcio y magnesio) y desmineralizar el agua (eliminación de los iones presentes).

✓ **Suavización por intercambio iónico**

La suavización por intercambio iónico se realiza por medio de sodio-cantonzación e hidrógeno-cantonzación. La diferencia entre ambas se encuentra que la sodio-cantonzación la sustancia regenerante es el cloruro de sodio y la hidrógeno-cantonzación se realiza con ácido.

La suavización por intercambio de sodio es ampliamente usado en los generadores de baja presión, que se necesita eliminar los cationes que producen sustancias incrustantes como el calcio y el magnesio. Durante el proceso, la dureza del agua es eliminada por el intercambio catódico siguiente:



Como resultado de estas reacciones de intercambio los iones calcio y magnesio quedan retenido en el filtro cationítico y el sodio pasa al agua, reduciéndose la dureza del agua a cero prácticamente. La alcalinidad y la composición iónica permanecen constantes y el contenido de sales aumenta, ya que el sodio tiene un peso atómico ligeramente superior a los iones intercambiados.

La hidrógeno cantonización se utiliza combinado con la sodio-cantonización o con las resinas anionitas en el proceso de desmineralización, debido a que el H-catonizada disminuye el pH, no se puede utilizar en los procesos independientemente.

✓ **Desmineralización por intercambio iónico**

La desmineralización del agua por intercambio iónico es el proceso que logra obtener un agua libre de suspensiones sólidas y coloidales y que tenga una disminución considerable de impurezas iónica molecular, no elimina microorganismos ya que se hace a temperatura ambiente.

La utilización del método de intercambio iónico es conveniente cuando el contenido de sales en el agua inicial se encuentra por debajo de 1000 mg/L, a concentraciones mayores no es justificable por índole económico. En Cuba se encuentra ampliamente utilizado en todas las termoeléctricas para la eliminación de impurezas a las aguas de los generadores de vapor de mediana y alta presión.

Forman parte de estas instalaciones de desmineralización por intercambio iónico, los procedimientos de clarificación, los filtros de H-cationización, los descarbonatadores y los filtros aniónicos. Como línea general se procura que los productos de las reacciones de intercambio sean los iones oxidrilo e hidronio para evitar el incremento de sales en el agua. (Francisco Martín, Francisco et al., 2007)

1.5. Tipos de procesos de intercambio iónico, según las características de la caldera.

En dependencia de la presión de operación de la caldera, así será la calidad del agua de alimentación; es por ello que mediante el empleo de columnas se suele producir, según el caso, desde agua ablandada hasta agua prácticamente pura.

A continuación se muestran algunos arreglos comúnmente utilizados.

1.5.1. Ablandamiento.

Para calderas que operan de 0.6 MPa o inferiores basta utilizar un agua ablandada, la dureza total, cerca de un valor menor que 1 ppm de la dureza total. Para lograr un agua de esta calidad se emplea una columna catiónica fuerte operando en el ciclo de sodio; de esta manera al intercambiarse sodio por calcio y magnesio la dureza disminuye haciéndose prácticamente nula, no obstante la salinidad del agua se mantiene constante.

En la práctica suelen instalarse dos columnas para dar margen a la regeneración sin necesidad de parar la operación; estas columnas se regeneran con una solución de NaCl (cloruro de sodio).

La figura 1.1 Muestra un diagrama de bloques del proceso de ablandamiento para calderas que operan con presión igual e inferior a 0.6 MPa.

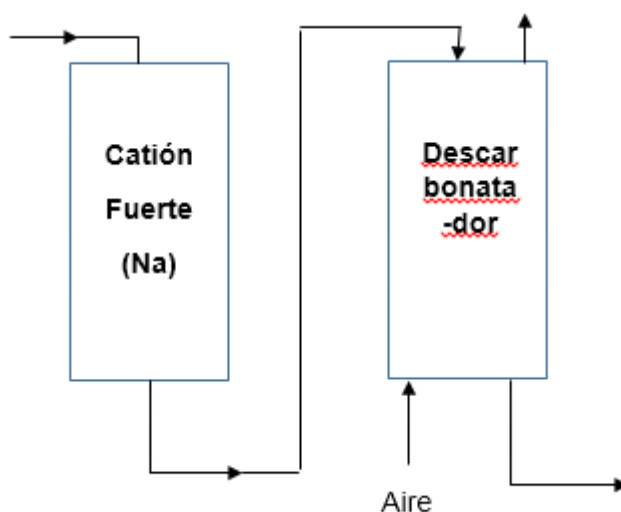


Figura # 1.1 Diagrama de bloques del proceso de ablandamiento para caldera que operan con presión igual e inferior a 0.6 MPa.

1.5.2. Desmineralización Parcial.

Para calderas que operan a presiones superiores a los 0.6 MPa es necesario utilizar agua desmineralizada; no obstante, el grado de desmineralización necesario depende de la presión de operación y se logra con diferentes arreglos.

En estos casos ya se hace imprescindible trabajar al menos con dos tipos de resinas: catiónicas (operando en el ciclo del hidrógeno) y aniónicas.

La figura 1.2 representa a un diagrama de bloques del sistema de desmineralización para caldera que operan de 0.6 MPa hasta 1.0 MPa de presión.

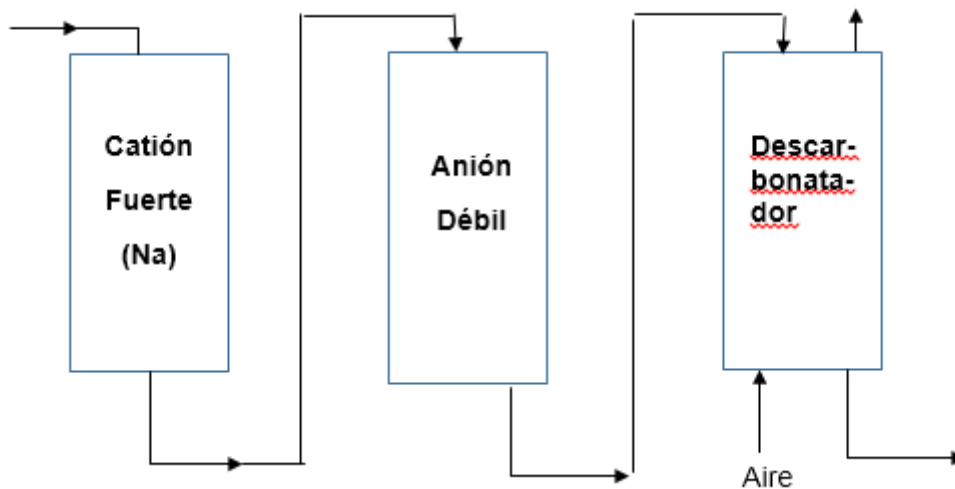


Figura # 1.2 Diagrama de bloques del proceso de ablandamiento para caldera que operan de 0.6 MPa hasta 1.0 MPa de presión.

1.5.2.1. Descripción del proceso de desmineralización parcial.

El agua cruda previamente ablandada por precipitación química es tratada inicialmente mediante una resina catiónica fuerte operando en el ciclo hidrógeno.

De este tratamiento sale un agua ácida donde todos los cationes han sido intercambiados por H^+ .

La segunda columna contiene una resina aniónica débil; estas resinas se caracterizan por intercambiar todos los aniones de ácidos fuertes por OH^- ; no intercambian los aniones carbonatos ni silicato.

La tercera columna no es una columna de intercambio, sino una columna de despojamiento llamada en este caso descarbonatador; en ella se hace pasar aire a contracorriente, el cual despoja el CO_2 disuelto. Este CO_2 disuelto procede de la descomposición de los hidrógenocarbonatos y carbonatos a valores de pH bajos durante el tratamiento en la primera columna.

Este sistema da un agua con una conductividad de 10-20 siemens y no elimina los silicatos.

La columna catiónica se regenera con HCl (ácido clorhídrico) ó H_2SO_4 (ácido sulfúrico), mientras que la aniónica se regenera con NaOH.

1.5.3. Desmineralización Total.

Para calderas que operan con presión desde 1.0 MPa hasta 10 MPa es imprescindible aplicar un proceso de desmineralización total, debido a que el vapor generado en estas calderas suelen emplearse para producir trabajo, los volúmenes de agua que se manejan son mucho mayores y la operación a altas presiones es más riesgosa; el agua debe cumplir con requisitos más rigurosos. Para estos casos se proponen dos sistemas diferentes; el que se muestra en la figura 1.3 que está compuesto por una columna rellena de resina catiónica fuerte operando en el ciclo hidrógeno (H^+), una columna descarbonatadora y por último una columna con resina aniónica fuerte.

La columna catiónica fuerte se comporta de la misma manera que en el sistema de la figura 1.2. A ella le sigue el descarbonatador, donde se despoja el CO_2 producido a partir de carbonatos e hidrógenocarbonatos y posteriormente columna con la resina aniónica fuerte, donde se eliminan los restantes aniones.

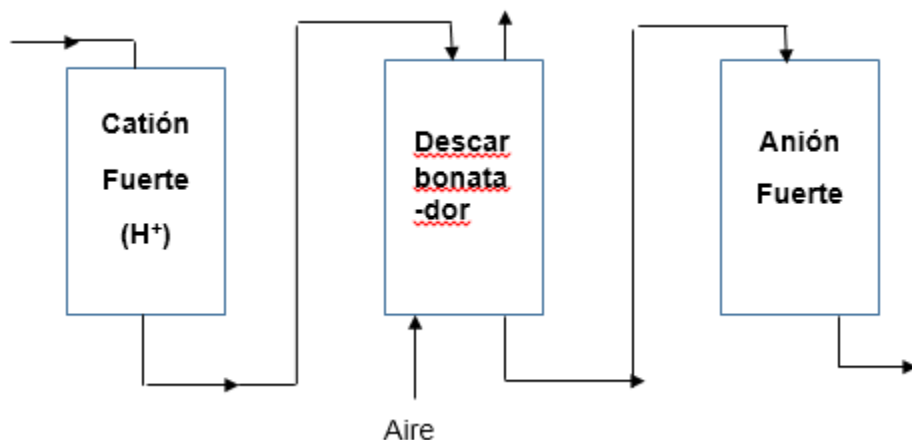


Figura # 1.3 Diagrama de bloques del proceso de desmineralización total.

En este caso la función del descarbonatador es la de aliviar la resina aniónica fuerte, prolongando de esta forma su ciclo de operación y su vida útil. Este sistema puede dar un agua con una conductividad entre 5-10 microsiemens o menor; aquí sí se eliminan los silicatos. La resina aniónica fuerte se regenera con NaOH.

1.5.3.1. Segunda alternativa para el proceso de desmineralización total.

Otra alternativa de trabajo es la que se muestra en la figura 1.4 en este caso se emplean cuatro columnas y se obtiene un agua de calidad similar a la del sistema anterior.

Este arreglo se recomienda cuando el agua es rica en cloruros y sulfatos.

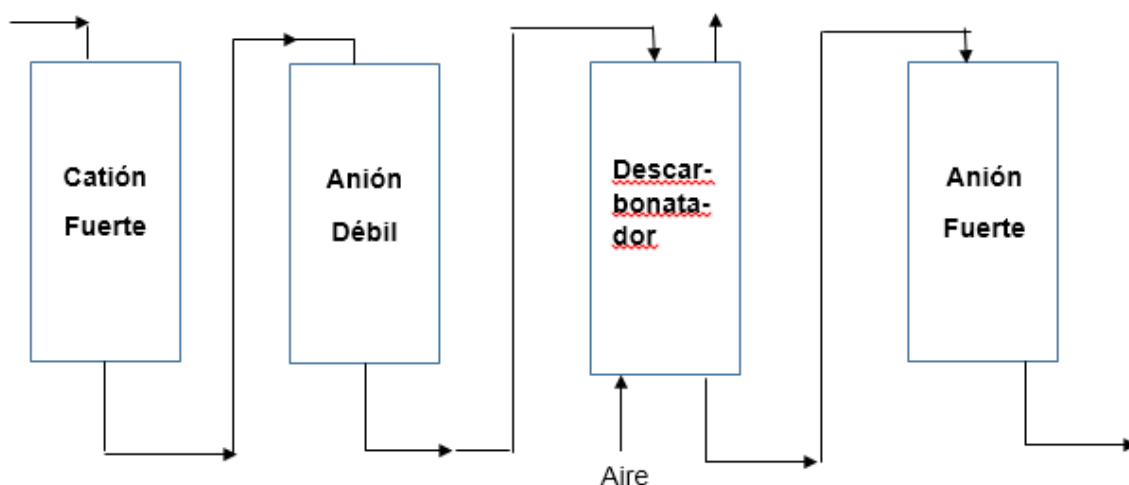


Figura # 1.4 Diagrama de bloques para otra alternativa de desmineralización total.

Como puede observarse las tres primeras columnas son el sistema de la figura 1.2, al cual se le ha adicionado una cuarta columna (anión fuerte), cuyo objetivo es eliminar los silicatos; este sistema, aunque implica una mayor inversión inicial que para el sistema representado en la figura 1.3, trae aparejado un costo de operación inferior, pues la resina aniónica fuerte (la más cara) tendrá un ciclo de operación mucho más largo que en la alternativa anterior. De todas formas la alternativa a escoger dependerá de un análisis económico.

1.5.4. Proceso en caldera con una presión de trabajo desde 10 MPa hasta 15 MPa o mayores.

En estos casos se requieren un agua prácticamente pura, la cual se puede obtener adicionándole al sistema de desmineralización total representado en la figura 1.3 una columna de lecho mezclado. Esto garantiza un agua con una conductividad inferior a 0.2 microsiemens (μs).

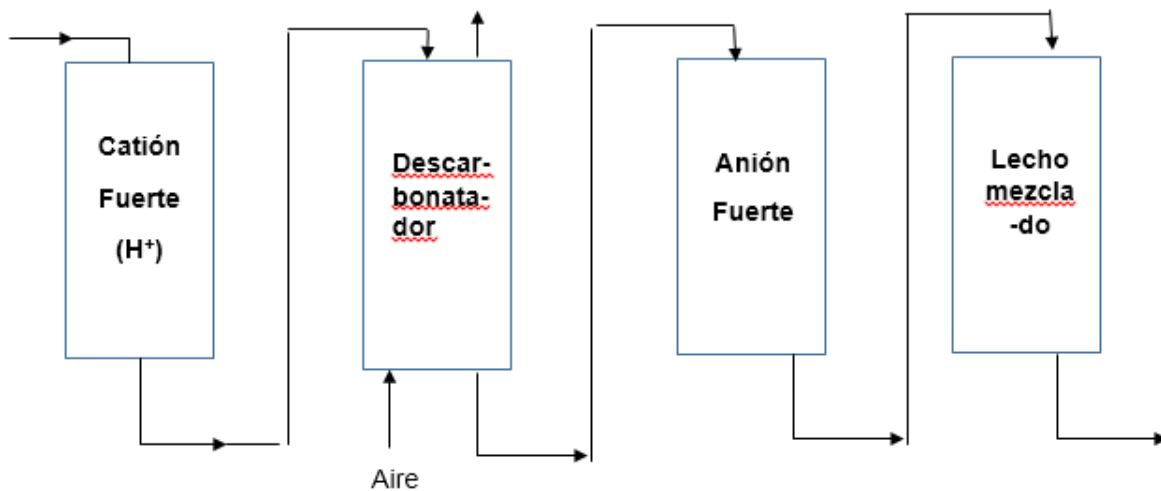


Figura # 1.5 Diagrama de bloques para calderas con presión de operación desde 10 MPa hasta 15 MPa o mayores.

1.5.5. Generación de las resinas de intercambio iónico.

La regeneración de las resinas tiene como objetivo retribuirle a la misma las cargas originales para que pueda continuar operando; esto es posible hacerlo gracias a que las reacciones de intercambio son reversibles. No obstante, para lograr esta reacción inversa, es necesario emplear soluciones de regenerante con concentraciones relativamente altas. Cada fabricante recomienda el tipo y concentración de regenerante adecuado para cada caso.

La regeneración se realiza, por lo general, con más cantidad de regenerante que el estequiométricamente necesario. El exceso de regenerante a emplear depende de varios factores; entre ellos se encuentran las características de la resina, el modo de funcionamiento elegido y el grado de regeneración necesario para obtener la calidad de agua deseada.

Los fabricantes de resinas ofrecen tablas y gráficos donde se recomiendan los niveles de regeneración y concentraciones del regenerante para obtener diferentes calidades de agua, en función de la calidad del agua a tratar; cabe destacar que en dependencia del nivel de regeneración utilizado se encontrará la capacidad de intercambio de la resina.

Una vez regenerada, la columna sufre un proceso de lavado o enjuague. [\(Días Betancourt, Raúl, 2010\)](#)

1.6. Operación de las calderas.

1.6.1. Generación de vapor.

En la mayoría de los sistemas, y es lo deseable en todos los casos, el agua que está en el desaireador es bombeada a la caldera. Una vez dentro de la caldera, el agua sigue un patrón de recirculación, que está determinado por la diferencia de densidad del agua a diferentes temperaturas. Este fenómeno se conoce como circulación natural. Conforme el agua se va calentando, el vapor se desprende del agua en el domo de vapor en las calderas tubulares y en la porción superior en las calderas de tubos de fuego. Por lo general las calderas cuentan con algún tipo de arreglo interno que ayuda a separar el vapor de pequeñas gotas de agua que

pueden llevar sólidos disueltos que se pueden depositar en diferentes áreas por las que pasa el vapor, provocando ensuciamiento y pérdida de eficiencia en equipos como turbinas.

La calidad del vapor se determina de acuerdo con la mayor o menor presencia de gotas de agua. Entre menos agua haya, mejor es la calidad del vapor. Cuando el vapor lleva agua, se habla de “arrastre”.

1.6.2. Purga de la caldera.

La purga de agua de la caldera consiste, en la expulsión de cierta cantidad de agua con una alta concentración de sólidos disueltos, con el propósito de mantener ciertos rangos previamente establecidos. De esta manera se garantiza que el riesgo de formación de incrustaciones, arrastre y otros problemas, se mantengan al mínimo.

La purga manual intermitente básicamente se utiliza para expulsar sólidos en suspensión en forma de lodos, que se forman en mayor o menor cantidad dependiente de la cantidad de dureza que entra a la caldera. Cuando se presenta una contaminación en el agua de la caldera, es necesario aumentar la purga para eliminar el agua contaminada en el menor tiempo posible.

1.6.3. Purga de fondo.

Dependiendo de la calidad de agua de alimentación de que se disponga, el parámetro limitante que determina el régimen de purga puede ser la alcalinidad, sílice, sólidos totales etc. La mayoría de los sistemas cuentan con un mecanismo de purga intermitente o de fondo se abre cada cierto tiempo, dependiendo de la calidad de agua que se utiliza, la frecuencia de la purga de fondo puede variar desde cada hora, hasta una cada ocho horas, y algunos sistemas trabajan con solo una purga cada 24 horas. Es conveniente tener en mente que para desalojar lodos de la caldea, resulta más eficaz, un régimen de purgas cortas pero frecuentes, que una sola purga de larga duración.

Cada fabricante de calderas hace sus recomendaciones con respecto a la operación de la válvula de purga de fondo, y por lo general lo recomendable es que se tengan a mano para consulta de todo el personal involucrado.

1.6.4. Purga continua.

Como su nombre lo indica, esta purga es permanente mientras la caldera esta en operación. Consiste en el desalojo continuo de cierta cantidad de agua de la caldera, la cual contiene la mayor concentración de sólidos disueltos. Por lo general la válvula de control de la purga continua tiene una graduación que permite al operador darse cuenta de si está purgando mucho o poco. Las variaciones que se hacen en la válvula, basadas en los análisis del agua de la caldera, deben ser pequeñas, de lo contrario se presentará una condición de altos y bajos con la consiguiente dificultad para mantener un balance químico adecuado.

Existen mecanismos electrónicos que pueden automáticamente controlar la purga continua mediante un control continuo de conductividad. El sistema de purga continua ofrece la posibilidad de recuperar cierta cantidad de energía que puede ser empleada para calentamiento de algunos procesos por medio de un intercambiador de calor. (VAPEN.SA, 2010)

Conclusiones Parciales

1. Las impurezas en el agua se clasifican en cuatro grupos: suspensiones sólidas, soluciones y suspensiones coloidales, dispersión del tipo iónica y o molecular y los crecimientos biológicos.
2. Entre los inconvenientes que producen las impurezas en el agua se encuentran: formación de incrustaciones, corrosión y la formación de espuma.
3. Los tratamientos para la eliminación de las impurezas en el agua dependen de las especificaciones del proceso, de ahí que reciba un tratamiento más profundo como la desmineralización total o una más sencillo como el ablandamiento.
4. Las purgas en la caldera son necesarias para mantener bajos valores de sólidos totales disueltos en la misma, pero es importante mantener un balance para que no sea tan altos los porcentajes de purgas que propicien un gasto excesivo de agua.

Capítulo II. Descripción del tratamiento de agua en las calderas de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.

2. Función y descripción del sistema en estudio.

La Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”, ubicada al norte de la bahía de Cienfuegos es uno de los principales pilares del desarrollo petroquímico del País. La misma presenta un régimen de trabajo continuo con una capacidad de procesamiento de crudo de 65 000 BDP, de ello: 15 mil barriles diarios de gasolina regular, 14.225 barriles diarios de diesel, 7 mil 322 de combustible Jet, 32 mil 525 de fuel oíl, 958 de gas licuado de petróleo. Permite satisfacer la demanda local y destinar a la exportación más de 9 mil barriles diarios de gasolina vehicular y 582 de combustible de aviación en el mercado del Caribe. La capacidad total de almacenamiento de productos es de 680 000 m³. Actualmente la refinería cuenta con un esquema de refinación primario constituido por una unidad de destilación atmosférica que cuenta con cuatro torres: destilación atmosférica, desgasolinadora, despojadora y estabilizadora (sección 100), una unidad de reformación catalítica (sección 200), una unidad de Hidrofinadora de diesel (sección 300), una planta MEROX de tratamiento a turbocombustible, una planta de GLP (sección 400), una planta de tratamiento de amina, unidad de compresores de gases (sección 700) y la unidad de los hornos junto con la caldera recuperadora (sección 600). Además de contar con las facilidades auxiliares, título 41 Tanques, título 52 Calderas, título 17 Facilidades de hidrógeno, título 08 Gasómetros de nitrógenos, título 18 y 19 Facilidades de flare, título 61 Facilidades de reactivos, título 80 Sub estación eléctrica, título 85 Compresores y PTR. **(Ver anexo # 1)**

2.1. Características generales del complejo casa de caldera.

La casa de calderas está destinada para producir el vapor de agua a la presión de 1.3 MPa (13 kgf/cm²), a temperatura de 250 °C, presión de 0.6 MPa (6 kgf/cm²), a temperatura de 210 °C y presión de 0.3 MPa (3 kgf/cm²), a temperatura de 200 °C.

De la casa de caldera sale el vapor de 13 kgf/cm² por la línea 45 que da ser vicio a las plantas que conforman el proyecto original de la Refinería. En la sección 100 se utiliza para atomizar el combustible fuel oil a los hornos, como vapor de despojamiento en las torres de destilación T-102 y T-103, vapor al satélite en línea de fuel oil a los hornos, intercambiador E-118 para calentar el fuel oil de insumo a la planta combinada, intercambiador E-117 para calentar el gas de insumo a los hornos del sector 1 y sector 2. El condensado en esta sección se acumula y drena en 27 trampas distribuidas en las líneas de vapor a proceso y facilidades auxiliares, con el mismo objetivo en el sector 2 se encuentran distribuidas 12 trampas. En la sección 400 se calienta con vapor el inyector de nafta inicial 70 a la torre estabilizadora T-401 y en el E-403; existen 7 trampas de condensado. El vapor de 3 kgf/cm² se envía a la lavandería de la empresa y para las necesidades propias del complejo de casa de calderas se consumen los vapores de 3 y 6 kgf/cm².

La capacidad máxima de la casa de caldera es de 96 t/h (24t/h por unidad) distribuido en cuatro unidades denominadas tecnológicamente F-52-101-1, 2, 3,4A. Cada unidad está constituida por: sistema de combustión, economizador, sobrecalentador y ventiladores de tiro forzado e inducido.

El vapor se produce del agua proveniente del río Damují a través de la potabilizadora de este efluente y de las piscinas de recolección de aguas pluviales tratadas de la Refinería.

La planta de tratamiento químico de agua da servicio a la casa de calderas, a la caldera recuperadora de la planta combinada y otras necesidades tecnológicas.

Las facilidades de reactivo comprenden el ciclo hidrógeno (ácido sulfúrico) (fuera de uso actualmente) y el ciclo sodio (sal común).

2.2. Descripción del proceso tecnológico de la planta de tratamiento químico de agua para el ciclo sodio.

La dureza del agua es el índice que determina el contenido en el agua de los cationes formadores de incrustaciones calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}), (cationes de dureza). La planta de tratamiento químico está determinada para reducir la dureza hasta el nivel requerido.

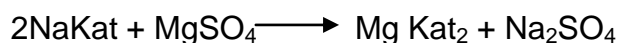
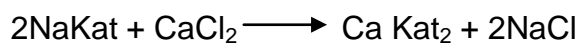
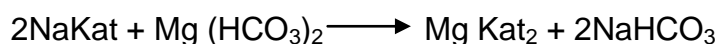
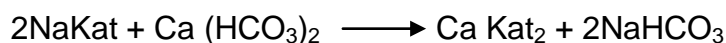
Con el fin de obtener el agua químicamente tratada que va para la alimentación de las calderas de vapor de la propia casa de caldera y para las necesidades de las plantas tecnológicas de la Refinería está permitido el esquema de "Na-cationización" (Ciclo Sodio).

El agua inicial procedente de la planta potabilizadora de Abreus con calidad de agua potable en la cantidad de $76 \text{ m}^3/\text{h}$ con $T = 20-30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $P = 0.6 \text{ MPa}$ ($6 \text{ Kg}/\text{cm}^2$) va a la planta de tratamiento, para obtener el agua muy ablandada (con la dureza total no más de $0,015 \text{ mg-equiv}/\text{Kg}$) el agua es bombeada mediante las bombas P-52-106-1, P-52-106-A hacia los filtros de Na-cationita de la I etapa V-52-125-1, V-52-125-2 que operan en paralelo y luego al filtro de Na-cationita de la II etapa V-52-126 llenos del material de intercambio de iones, la cationita Amberlite IR-120.

Se cuenta con el filtro de reserva V-52-125-A que se utiliza durante la reparación de los filtros V-52-125-1,2 o durante la regeneración del filtro V-52-126.

El método de Na-cationita de ablandamiento del agua está basado en el intercambio del catión Na^+ ubicado en forma móvil en la cationización por los cationes Ca^{++} y Mg^{++} .

Con esto se desarrollan las siguientes reacciones:



El agua muy ablandada (químicamente tratada) en la cantidad de 76 m³/hr con T=20-30⁰C y P= hasta 0.6 MPa (6 Kgf/cm²) desde el filtro de Na-cationita de II etapa V-52-126 pasando por los intercambiadores de calor E-52-117, E-52-118, E-52-167 va al desaerador de agua J-52-143 y posteriormente a las calderas F-52-101-1, 2, 3, A. **(Ver Anexo # 2)**

Una parte del agua químicamente tratada en la cantidad de 25 m³/hr con T=20-30⁰C y P= 0.35 MPa (3.5Kgf/cm²) después del filtro V-52-126 va para los tanques de almacenamiento de agua tratada para el uso de las necesidades de las plantas tecnológicas de la Refinería.

Según los resultados del análisis del agua ablandada después de los filtros, se determina la necesidad de la desconexión del filtro para la regeneración.

Durante la regeneración de las cationitas de Na-filtros se desarrollan las reacciones que son inversas a las reacciones durante la filtración del agua a través de la cationita.

Durante la regeneración de las cationitas mediante las soluciones de sal común (NaCl) los cationes de dureza Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ desde las cationitas pasan a la solución de regeneración y la cationita se satura con los cationes de hidrógeno (H⁺) y sodio (Na⁺) respectivamente.

Antes de la regeneración de la cationita en los filtros se realiza el mullido de la cationita con el agua inicial. El mullido lleva la cationita al estado en suspensión, elimina las compactaciones locales en la capa de la cationita, evacúa las impurezas traídas por el agua y los productos de destrucción de las partículas de la cationita.

La duración del mullido de los filtros de Na-cationita es de 15 minutos.

Después de la regeneración del filtro se efectúa el lavado de la cationita mediante el agua inicial de los productos de regeneración.

La descarga del agua de mullido y las primeras raciones del agua de lavado después de los filtros se efectúa a la cámara de la estación de bombeo profundizada de efluentes salinos.

Los procesos de mullido, regeneración y lavado de los filtros se realiza en forma secuente y solamente de uno de los filtros. **(Reglamento tecnológico. Casa de calderas, 1985)**

2.3.1. Facilidades de reactivos. Nudo de sal común. Descripción del proceso de Regeneración de los filtros de Na-Cationita.

La regeneración de los filtros de Na-Cationita V-52-125-1, 2, A, V-52-126 se realiza mediante la solución de sal común (NaCl) al 12%. El almacenamiento de sal común y la preparación de la solución de sal común se efectúan en las facilidades de reactivos.

La sal común se lleva a las facilidades de reactivos mediante el transporte automotor. El método de transportación es a granel.

Con el fin de clarificar la solución de la sal que contiene las diferentes impurezas en la tolva D-52-162, se carga primeramente una capa filtrante de arena de cuarzo o antracita triturada con altura de 200-300 mm, luego en esta capa se echa la sal y mediante la bomba P-52-157 se añade el agua inicial.

La solución saturada de sal ya preparada es enviada a la tolva D-52-129, mediante la bomba P-52-156-1, P-52-156-A se envía a través del solvente de sal V-52-127 (filtro de sal). En este caso el solvente de sal V-52-127 cumple el papel del filtro, para lo cual se llena de una capa de arena de cuarzo o antracita triturada (con tamaño de granos 0.8-1.5 mm). La solución salina filtrada es enviada a los V-52-125-1, 2, A y V-52-126 para ser regenerado según la necesidad del proceso. **(Ver anexo # 3)**

El paso de la solución de sal común regenerada se realizará con una velocidad de 9.6 m³/hr. El tiempo aproximado del paso de la solución de la sal común es igual a

40 minutos y el volumen del regenerante usado es de 8.45 m³. (*Reglamento tecnológico. Casa de calderas, 1985*)

2.4. Proceso de tratamiento interno al agua de alimentación a las calderas.

Para continuar con el acondicionamiento del agua, no solo se efectúa un tratamiento externo sino que también se lleva a cabo un tratamiento interno que basa su proceso en la adición de productos químicos. Este se considera como un elemento de tratamiento externo, que depende del grado de purificación del agua y de la presión de la caldera. Con este proceso se busca controlar y prevenir la formación de incrustaciones, eliminar el uso de limpieza química, reducir los niveles de corrosión en las líneas y equipos donde se forma el condensado, y mantener limpia las superficies de transferencia de calor.

La Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” usa como productos químicos para su tratamiento interno para agua de calderas los comercializados por la firma de Costa Rica VAPENSA. Es por esto que los productos se les conocen comercialmente con el nombre de Vapen, a continuación se describe los usados en el tratamiento interno:

Vapen 220: Producto neutralizante de ácido carbónico en retornos de condensado, formulado a base de aminas neutralizantes.

Vapen230: Producto dispersante formulado a base de termopolímeros dispersantes de alto rendimiento.

Vapen 260s: Producto anticorrosivo a base de sulfitos catalizado.

Vapen 250s: Producto antincrustante a base de polifosfatos, antiespumantes e inhibidor de fragilidad caustica.

2.5. Principales problemas que presenta el tratamiento de agua en la Refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.

La planta de tratamiento químico de agua de la Refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” está diseñada según la tecnología Rusa para un sistema de tratamiento de intercambio de Hidrógeno (ciclo ácido), un sistema de intercambio con sodio (ciclo sodio), incluye un descarbonador, un desaireador y un sistema de depuración de condensado.

El proceso actual comprende solamente el tratamiento mediante ablandamiento (ciclo sodio) con la eliminación de O_2 en el desaireador, el uso de este solo tratamiento ha traído como inconveniente que no se puede remover la alcalinidad en el agua; como resultado de esto se producen arrastres en la caldera por la formación de espuma, corrosión en las líneas de condensado debido a la formación de ácido carbónico por no eliminar el CO_2 en el descarbonador y disminución de los ciclos de concentración; o sea incremento de la purga. **(Ver Anexo # 4)**

El proceso de desmineralización parcial no se lleva a cabo por deficiencias presentes en los equipos, en este caso los problemas se encuentran en las facilidades de reactivo, el sistema encargado de la preparación de la solución de ácido sulfúrico para la regeneración de la resina.

Por otro lado el sistema de depuración de condensado se encuentra en una situación crítica ya que gran parte del equipamiento se encuentra desmantelado, además de no contar con el material de intercambio.

2.5.1. Levantamiento de equipos y aparatos obtenido mediante una inspección realizada a la planta de tratamiento químico de agua, específicamente en el área del ciclo ácido.

Tabla # 2.1 Levantamiento de equipos y aparatos tecnológicos del ciclo ácido en la planta de tratamiento de agua.

Denominación de los equipos	Número de posición por el esquema	Cantidad	Material	Características técnicas	Estado actual
Filtros de H-Cationita I etapa	V-52-123-1,2 V-52-123-A V-52-124	4	Acero al carbono	Diámetro-2000mm Presión-0.6MPa Temperatura 20+30 °C	Existe
Tambor medidor de ácido sulfúrico	D-52-135	1	Acero al carbono	Volumen-1m ³ Diámetro-1000mm Altura-1000mm Presión-0.06MPa Temperatura-20+30 °C	No existe
Depósito neutralizador de vapores de ácido sulfúrico	D-52-135-2	1	Acero al carbono	Volumen-0.5m ³ Diámetro-800mm Altura-995mm Presión-atm Temperatura-20+30 °C	No existe
Tee mezcladora		1	Por el exterior de acero al carbono Por el interior empleada	Diámetro exterior del paso del agua 150 mm Diámetro interior del paso del agua 60 mm Diámetro exterior del paso	No existe

Capítulo II Descripción del tratamiento de agua en las calderas de

la Refinería de Petróleo "Camilo Cienfuegos"

				del ácido 75mm Diámetro interior del paso del ácido 25 mm	
Depósito de almacenamiento de ácido sulfúrico técnico.	D-52-160	1	Acero al carbono	Diámetro: 2020mm Largo: 5800mm Presión atmosférica Temperatura:20-30°C Volumen: 15m ³	Existe
Descarbonador	J-52-141	1	Acero al carbono	Capacidad de tolva-0.2m ³	Existe
Bomba de suministro de ácido sulfúrico para la dilución (para la regeneración de filtros de H-cationita)	P-52-108-1, P-52-108-2	2		Capacidad:0.4m ³ /h Presión en MPa A la succión 0.002 A la impulsión 0.6 Potencia: 1.1kW	Existe
Bomba para el suministro de agua para la solución de ácido sulfúrico al 0.6%	P-52-107	1			Existe

La planta cuenta con todas las líneas, las de acero al carbono y las líneas engomadas para el paso de la solución de ácido sulfúrico al 0.6%.

2.5.2. Levantamiento de equipos y aparatos obtenido mediante una inspección realizada a la planta de tratamiento químico de agua, específicamente en el sistema de depuración de condensado.

Tabla # 2.2. Levantamiento de equipos y aparatos tecnológicos del sistema de depuración de condensado en la planta de tratamiento de agua.

Denominación de los equipos	Número de posición por el esquema	Cantidad	Material	Características técnicas	Estado actual
Tanque para sedimentación de condensado	D-83-1 D-83-2	2	Acero al carbono	Volumen-200 m ³ Diámetro-630mm Altura-5980 mm Presión-atm Temperatura90 ⁰ C	Existe
Intercambiador de calor de refrigeración de condensado	E-84-1	1	Acero al carbono	Diámetro-426mm Presión en los tubos 0.4 MPa en el cuerpo-1.2 Temperatura ⁰ C en tubos 32-48 en el cuerpo 160-80	No existe
Filtros de Clarificación con coque de hulla	V-52-128-1 V-52-128-2	2	Acero al carbono	Diámetro-2000mm Presión-0.6MPa Temperatura-50 ⁰ C	Existe

Capítulo II Descripción del tratamiento de agua en las calderas de

la Refinería de Petróleo "Camilo Cienfuegos"

Depósito mezclador de sulfato de aluminio	D-52-138	1	Acero al carbono	Volumen-0.5m ³ Diámetro-800mm Altura-995mm Presión-atm Temperatura 20+30 °C	Existe
Depósito mezclador de álcali NaOH	D-52-137	1	Acero al carbono	Volumen-0.5m ³ Diámetro-800mm Altura-995mm Presión-atm Temperatura 20+30 °C	Existe
Depósito mezclador de NaOH + sulfato de aluminio	D-52-139	1	Acero al carbono	Volumen-1m ³ Diámetro-1200mm Altura-885mm Presión-atm Temperatura 20+30 °C	Existe
Bomba de suministro de aire técnico	P-52-111-1 P-52-111-A	2	—		Existe, pero tienen otro uso
Filtros con carbón activado	V-52-129-1 V-52-129-2	2	Acero al carbono	Diámetro-2000mm Presión-0.6MPa Temperatura-50°C	No existe
Filtros de	V-52-166-1	2	Acero al	Diámetro-	Existen

H-Cationita	V-52-166-2		carbono	1500mm Presión-atm Temperatura- 20+30 °C	
Bomba de suministro de agua para el mullido	P-52-110-1 P-52-110-A	2			No existe

El sistema de depuración de condensado no cuenta con las líneas de enlace de los filtros.

Los depósitos mezcladores de sulfato de aluminio y de la solución de álcali no presentan buen estado técnico ya que se encuentra gran parte de los mismos corroídos a causa de las lluvias y de la falta de pintura.

La mayoría de los equipos que se encuentran hoy en la planta tienen otro uso, tal es el caso de los tanques de sedimentación de condensado que hoy se utilizan para el almacenamiento del agua tratada, los filtros V-52-129-1,2 se encuentran rellenos con arena cumpliendo la función de los filtros mecánicos para filtrar el agua cuando viene de las piscinas de almacenamiento de aguas pluviales.

2.6. Métodos de ensayos utilizados en el laboratorio para el análisis del agua.

2.6.1. Descripción de los métodos de ensayos utilizados para el análisis de las muestras de agua.

Se analizaron los procedimientos de análisis de los indicadores de mayor interés los cuales son:

2.6.1.1. Alcalinidad total.

Método de ensayo para la determinación de Alcalinidad total en muestras de agua. Método de valoración con indicador de color.

- **Generalidades.**

En el análisis químico se emplearán productos químicos analíticos de calidad p.a según NC 21-10:67. "Productos químicos. Clasificación por calidades y definiciones" NC 21-10:72 "Productos químicos. Especificaciones.

Por agua se entenderá el agua para análisis según la NC 21-10:67. "Agua para análisis"

Los utensilios y medios de medición estarán aptos para el uso.

- **Objetivo.**

Este método establece la determinación cuantitativa de cada uno de los iones que provocan la alcalinidad del agua.

- **Reactivos químicos.**

- ✓ Ácido Sulfúrico, solución 0.02 N.
- ✓ Indicador de fenolftaleína, solución al 1 %
- ✓ Indicador Metil naranja, solución al 1 %

- **Utensilios y medios de medición.**

- ✓ Bureta de 25 ml.
- ✓ Probeta de 50 ml.
- ✓ Elermeyer de 250 ml.
- ✓ Frasco gotero

- **Procedimiento.**

Llene la bureta con solución de ácido sulfúrico 0,02 N y enrase a cero.

Mida con la probeta 50 ml de la muestra de agua y viértala en el erlermeyer, adicione 4-5 gotas de fenolftaleína y agite suavemente para homogenizar la solución. Proceda de la siguiente forma:

Si la solución permanece incolora, no existe alcalinidad a la fenolftaleína. Añada entonces 4-5 gotas de metil naranja, agite suavemente para homogenizar y uniformar el color amarillo y valore con la solución de Ácido Sulfúrico hasta obtener un cambio de coloración de amarillo a rosado salmón (Color cebolla tenue).

Si la solución toma un color rosado fuerte, valore con Ácido Sulfúrico 0,02 N, hasta lograr el cambio de color de rosado fuerte a incoloro. Anote este volumen si va a determinar alcalinidad parcial (P). A esta solución valorada se añade 4-5 gotas de indicador metil naranja y se agita suavemente para uniformar el color amarillo, continúe valorando con la solución de Ácido Sulfúrico 0,02 N, hasta obtener un cambio de coloración de amarillo a rosado salmón (Color cebolla tenue).

2.6.1.2. Dureza total.

Método de ensayo para la determinación de dureza total. (Método complejométrico utilizando EDTA y eriocromo negro -T como indicador).

- **Objetivo.**

Este método establece la determinación cuantitativa de los iones calcio y magnesio que contienen el agua cruda, aguas tratadas y aguas de calderas para uso industrial, cuya coloración no impida la observación del punto final, utilizando EDTA y Eriocromo Negro T. como indicador.

- **Reactivos químicos:**

- ✓ Etilendiamino tetracetato disódico, solución 0.02 N.
- ✓ Solución reguladora de pH, buffer amoniacal 10,5.
- ✓ Eriocromo Negro T. Mezcla sólida del indicador.

- **Utensilios.**

- ✓ Bureta de 25 ml.

- ✓ Probeta de 50 ml.
- ✓ Erlenmeyer de 250 ml.

- **Procedimiento.**

Se llena la bureta con solución de EDTA 0,02 N y se enrasa a cero.

Se mide con la probeta 50 ml de la muestra de agua y se vierten en el erlenmeyer, se añaden 5 ml de solución buffer. Se adiciona una pizca de indicador Eriocromo y se agita suavemente para homogenizar la solución y lograr el color rojo vino. Se procede a la valoración con la solución de EDTA adicionando ésta gota a gota y agitando constantemente hasta lograr el cambio de coloración de rojo vino a azul claro, lo que indica el final de la valoración.

- **Expresión de los resultados.**

El contenido de dureza en mg equiv / l se calcula por la siguiente fórmula:

$$Dt = \frac{V * N * 100}{M}$$

donde:

V-volumen de la solución de EDTA consumido en la valoración en ml.

N-normalidad de la solución de EDTA empleado.

M-volumen de muestra empleada en la determinación, en ml. .

- **Complemento.**

Normas estatales de referencia:

NC 20-03:72 Productos químicos. Clasificación por calidades y definiciones.

NC 21-05:72 Productos químicos analíticos. Especificaciones.

NC 21-01:72 Agua para análisis.

NC 21-03:68 Soluciones reactivo de concentración exacta para uso general.

NC 21-04:69 Indicadores químicos.

2.6.1.3. Cloruros.

Método de ensayo para la determinación de cloruros por el método de Mohr.

- **Generalidades.**

En el análisis químico se emplearan productos químicos analíticos de calidad p.a. según NC 21-10:67

“Productos químicos.” “Clasificación por calidades y definiciones.” y NC 21-10:72. “Productos químicos”. Especificaciones.

Por agua se entenderá el agua para análisis según la NC 21-01:67. “Agua para análisis”

Los utensilios y medios de medición estarán aptos para el uso.

- **Objetivo**

Este método está destinado principalmente para aguas industriales y de desecho donde el contenido de cloruros es de 5 ppm o más y donde las interferencias tales como el color o altas concentraciones de iones de metales pesados hacen imposible el uso de otros métodos.

- **Reactivos químicos.**

- ✓ Solución de nitrato de plata 0.017 N.
- ✓ Solución indicadora de Cromato de Potasio al 50%.

- **Equipos y utensilios:**

- ✓ Bureta ámbar de 25 ml.
- ✓ Probeta de 50 ml.
- ✓ Frasco gotero.
- ✓ Erlenmeyer de 250 ml.

- **Procedimiento para la determinación.**

Se llena la bureta ámbar con una solución de nitrato de plata y se enrasa a cero.

Tome 50 ml de la muestra y viértalos en un erlenmeyer, añada 1 ml del indicador cromato de potasio y valore con una solución de nitrato de plata hasta la aparición de un color rojo brillante tenue.

- **Expresión de los resultados**

El contenido de cloruro en mg/l se calcula por la siguiente fórmula:

$$Cl = \frac{V * N * 35.5 * 1000}{M}$$

donde:

M = Volumen de muestra tomada ml.

V = Volumen de solución de AgNO₃ consumido en la valoración en mg/l.

N= Normalidad de la solución de AgNO₃.

35,5= Peso molecular del cloro.

2.6.1.4. Conductividad.

Método de ensayo para la determinación de sólidos disueltos en aguas industriales mediante conductividad eléctrica.

- **Generalidades.**

En el análisis químico se emplearan productos químicos analíticos de calidad p.a. según NC 21-10:67.

“Productos Químicos .Clasificación por calidades y definición” y NC 21-05:32 “Productos Químicos”.Especificaciones,

Por agua se entenderá el agua para análisis según la NC 21-01:67, “Agua para análisis”.

Los utensilios y medios de medición estarán aptos para el uso.

- **Objetivo.**

Este método tiene como objetivo la determinación rápida de los sólidos disueltos en las aguas industriales utilizando la propiedad de los mismos de conducir la corriente eléctrica a través de una solución, empleando para la determinación un conductímetro.

- **Reactivos químicos:**

Ácido acético al 5 %: Mida 5ml de ácido acético glacial y dilúyalo con agua hasta 100 ml.

Solución indicadora de fenolftaleína: Disuelva 1g de fenolftaleína en 60 ml de alcohol etílico. Cuando se disuelva añada 40ml de agua. Mezcle bien y filtre si es necesario.

- **Procedimiento:**

Añada a la porción de muestra a ensayar unas gotas de solución indicadora de fenolftaleína. Si se desarrolla el color rojo añada acético al 5% gota a gota, mezclando cuidadosamente hasta que desaparezca el color rojo. Determine la conductividad eléctrica de la muestra neutralizada en $\mu\text{s/cm}$.

Si la conductividad de la muestra neutralizada excede el rango del instrumento, diluya un volumen conocido de la muestra previamente neutralizada con exactitud y aplique el factor de dilución al calcular los sólidos disueltos.

- **Cálculos.**

Calcule los sólidos disueltos a partir de la conductividad eléctrica específica como sigue:

Sólidos disueltos = f x Conductividad en $\mu\text{s/cm}$.

Donde:

f = factor de conversión determinado experimentalmente.

2.6.1.5. pH.

Método de ensayo para determinar el valor de pH (método electrométrico).

- **Generalidades**

En el análisis químico se emplearan productos químicos analíticos de calidad p.a. según NC 21-10:67.

"Productos Químicos". Clasificación por calidades y definición NC21-01:72.

"Productos Químicos". Especificaciones.

Por agua se entenderá el agua para análisis según la NC 21-01:67. "Agua para análisis"

Los utensilios y medios de medición estarán aptos para el uso.

- **Objetivos y Alcance.**

Este método cubre la medición electrométrica del pH de las aguas industriales y de desecho mediante la utilización de electrodos de vidrios y un equipo adecuado para realizar la medición.

- **Procedimiento.**

El pH es un índice muy importante el cual caracteriza la acidez o basicidad de un medio y por tanto la presencia en el mismo de sustancias que lo provocan.

Se emplea en diversos cálculos analíticos y de él depende la realización de infinitos procesos químicos, biológicos, industriales, etc.

Enjuague los electrodos con agua destilada y séquelos cuidadosamente con un papel de filtro, calibre el equipo con las soluciones buffer a un pH ácido o básico, vierta la muestra en un beaker de 100 ml, introduzca en él los electrodos y realice la lectura, en el pH-metro.

- **Expresión de los resultados.**

Si el equipo está calibrado en unidades de pH, la lectura se obtiene en estas unidades al leer el equipo. Reporte el pH hasta las décimas.

Conclusiones Parciales

1. El proceso actual para tratar el agua de alimentación a las calderas sigue un sistema de ablandamiento, ya que solamente se elimina la dureza total del agua, los iones de calcio y magnesio, mediante un ciclo sodio.
2. Los principales problemas presentes en la planta de tratamiento de agua es la no utilización del ciclo ácido por encontrarse fuera de uso por la falta de equipos para la preparación de la solución de ácido sulfúrico usada en la regeneración de las resinas. El mal estado de los filtros y demás equipos del sistema de depuración de condensado que no permite usarlo como agua de reposición a la caldera.
3. Entre los métodos de ensayo utilizados se encuentra el de valoración con indicación de color para la determinación de alcalinidad, el método de EDTA y ericromo negro para determinar la dureza total, el método de Mohr para determinar los cloruros y para la determinación de pH se utilizó el método electrométrico.

Capítulo III. Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.

3. Valoración de los análisis químicos realizados en el sistema de tratamiento de agua de las calderas.

Mediante gráficos de control se estudió el comportamiento del agua de caldera y el condensado, valorando los parámetros medidos más importantes; los cuales son para agua de caldera:

- **Conductividad**
- **Alcalinidad total**
- **Cloruros**
- **Dureza total**
- **pH**

Para el análisis del condensado se analizó el comportamiento de:

- **Conductividad**
- **Alcalinidad total**
- **pH**

Se tomaron 100 valores de muestra, lo cual fue resumido en los tres primeros meses del año 2014, (enero, febrero y marzo).

Los análisis a las muestras se realizan en el laboratorio, con diferente periodicidad según al parámetro que corresponda, ya sea una vez en el turno o dos veces en el turno. Los resultados de los análisis se plasman en el documento No. RRF-DO-IT-19-05-02. (**Ver anexo # 5.**)

Se promediaron los resultados obtenidos en cada muestra realizadas en los turnos para así tener un solo valor por día, los valores fueron resumidos en tablas.

Análisis de la conductividad para el agua de caldera.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

- El comportamiento del gráfico de conductividad en el agua de caldera demuestra que las extracciones en la misma son altas, es por esto que todos los valores se encuentran por debajo del régimen establecido.
- La conductividad oscila por los 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ esto nos da una idea de que la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua son muy pobres, en general esto es un buen resultado respecto a las impurezas dentro de la caldera, pero por otra parte el proceso no es eficiente energéticamente ya que el porcentaje de extracciones son muy altos, y esto es agua y calor que se pierde, y por tanto energía.
- El ahorro de energía requiere que se mantenga las purgas continuas de la caldera en porcentaje razonables, no tan bajos que permitan el un aumento de la cantidad de sólidos totales disueltos dentro de la misma, ni tan altos que proporcione la pérdida de agua y de energía.

Análisis de la Alcalinidad total para el agua de caldera.

- El control de la alcalinidad total en el agua de caldera encuentra valores adecuados según las normas. Los resultados se deben a las altas extracciones en la caldera, el único modo de controlar alcalinidad en el agua de alimentación a las calderas es con un aumento considerable de las purgas continuas, ya que no se cuenta con el ciclo ácido dentro de la planta de tratamiento de agua.
- Los puntos fuera de rango puede deberse a un aumento de la demanda de vapor, en este caso debe aumentarse el régimen de purgas (extracciones) para mantener la alcalinidad en régimen.
- Es importante el control de la alcalinidad dentro de la caldera, porque provoca la formación de espuma y, una capa gruesa de espuma es una fuente de arrastre de líquido dentro de la corriente de vapor.

Análisis de los Cloruros para el agua de caldera.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

El control de los ciclos de concentración que se mantiene en una caldera se realiza mediante la medición de los cloruros en el agua de alimentación y agua de la caldera. Los cloruros son utilizados como variable de control, ya que, no participan en el tratamiento de agua y son fáciles de medir.

Cálculo de los ciclos de concentración (Cc) para el mes de enero:

$$Cc = \frac{\sum Cl. \text{agua Caldera}}{\sum Cl. \text{agua alimentacion}} = \frac{4889.75}{1210.43} = 4.03$$

Los ciclos de concentración son una respuesta para mantener valores de alcalinidad adecuados.

Análisis de la Dureza total para el agua de caldera.

- Los valores de dureza total en la caldera se encuentran por debajo de 0.1 como está especificado en el gráfico de control, por lo que tiene un buen comportamiento.
- Se puede decir que el control se debe a que el agua entra a la caldera con bajos porcentos de dureza ya que la misma es eliminada con el ciclo sodio en la planta de tratamiento de agua, además de las adiciones de fosfatos y altas extracciones en la caldera.
- El comportamiento de la dureza total demuestra que las incrustaciones dentro de la caldera son muy pobres.

Análisis del pH para el agua de caldera.

- Por lo general los valores de pH se encuentran dentro del rango normado.
- El control del pH depende en gran medida de los valores de alcalinidad total, si esta no es alta y se encuentra controlada el pH funciona de la misma manera. En este caso las extracciones continuas realizadas en las calderas son las que permiten un buen control de la alcalinidad y permitiendo de esta manera que los valores de pH se encuentren en los rangos permisibles.
- Solamente tres valores se encuentran por encima de los 11.8 y al no corresponder a días consecutivos, se puede concluir que son errores de

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

muestreo o de laboratorio, ya que para realizar el análisis la muestra debe tener una temperatura de 25 °C para ser introducida en el peachimetro el cual nos da el valor de pH. Si de alguna manera esto no se cumple puede presentar errores el resultado.

Análisis de la conductividad para el condensado.

- La grafica presenta un buen comportamiento de la conductividad en el condensado para el mes de enero, por lo general los valores se encuentran dentro del rango estimado.
- Se pueden observar oscilaciones que pueden estar dadas por contaminación de la muestra, errores humanos ya sean de los que operadores en el laboratorio en los técnicos de la caldera.

Análisis de la Alcalinidad total para el condensado.

- El control de la alcalinidad total en el condensado se encuentra dentro de los valores que especifica la norma, la mayoría de sus valores están en rango < 40 mg/l.
- Los punto que están fuera de régimen no demuestran que haya una anomalía en el proceso porque no ocurre en días consecutivos, estos valores pueden deberse a fallos técnicos, presenciales por las personas que operan con las muestras, a esto se le conoce con el nombre de errores humanos.

Análisis del pH para el condensado.

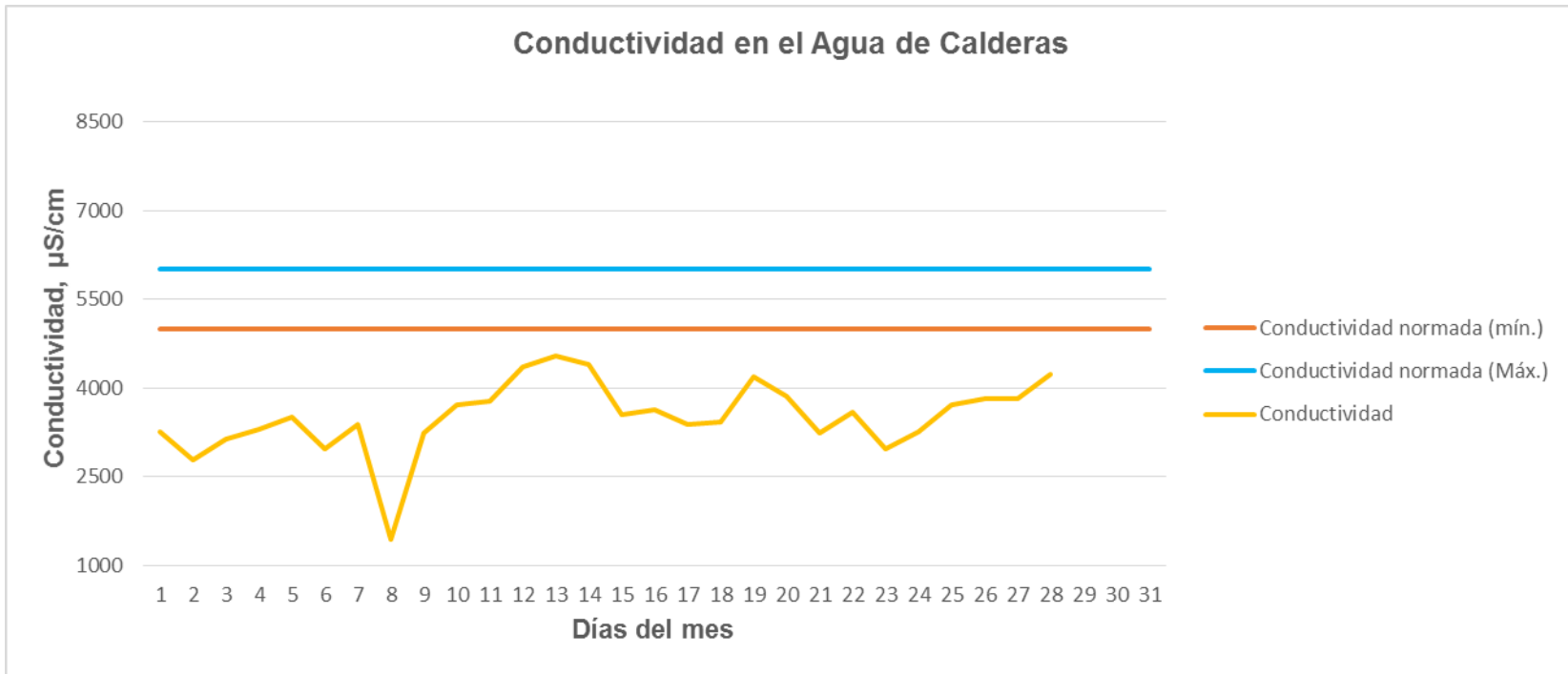
- El pH en el condensado indica bajos valores, por lo que son pH ácidos, estos están dados por la presencia de ácidos carbónicos, provenientes de carbonatos y bicarbonatos en el agua de alimentación a la caldera.
- Los carbonatos y bicarbonatos son conocidos como dureza carbonata y viene dada en la alcalinidad del agua, como esta no es tratada por filtros de intercambio de iones ciclo hidrógeno, ni el agua es pasada por el descarbonador, llega a la caldera con altos porcentos de la misma.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

3.1. Descripción del registro de datos.

Tabla # 3.1 Resultados de los análisis de la conductividad realizados al agua de caldera.

Días	Conductividad Normada (Mín.)	Conductividad Normada (Máx.)	Conductividad
1	5000	6000	3247.5
2	5000	6000	2770
3	5000	6000	3126.6
4	5000	6000	3290
5	5000	6000	3502.5
6	5000	6000	2960
7	5000	6000	3372.5
8	5000	6000	1439.4
9	5000	6000	3240
10	5000	6000	3715
11	5000	6000	3780
12	5000	6000	4345
13	5000	6000	4533
14	5000	6000	4395
15	5000	6000	3537.5
16	5000	6000	3622.5
17	5000	6000	3382.5
18	5000	6000	3430
19	5000	6000	4195
20	5000	6000	3865
21	5000	6000	3245
22	5000	6000	3585
23	5000	6000	2962.5
24	5000	6000	3257.5
25	5000	6000	3710
26	5000	6000	3810
27	5000	6000	3820
28	5000	6000	4229
29	5000	6000	
30	5000	6000	
31	5000	6000	



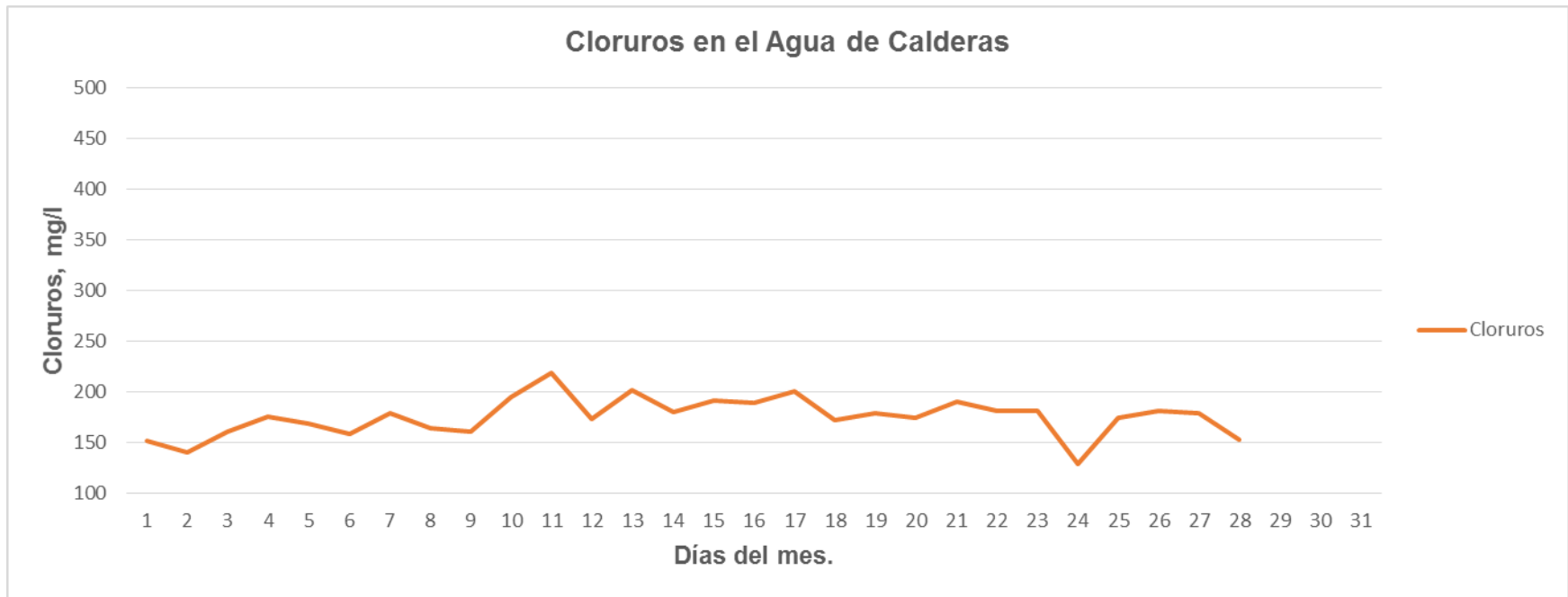
Gráfica # 3.1 Comportamiento de la conductividad en el agua de caldera para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.2 Resultados de los análisis de los cloruros realizados al agua de caldera.

Días del mes (enero)	Cloruros reportados
1	151.05
2	139.305
3	160.22
4	174.69
5	168.11
6	157.625
7	178.63
8	164.19
9	160.24
10	194.39
11	218.45
12	172.72
13	200.82
14	179.85
15	191.61
16	188.51
17	200.2
18	171.34
19	178.7
20	174.4
21	189.8
22	180.5
23	181
24	128
25	173.8
26	180.7
27	178
28	152.9
29	
30	
31	

*Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera
en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”*



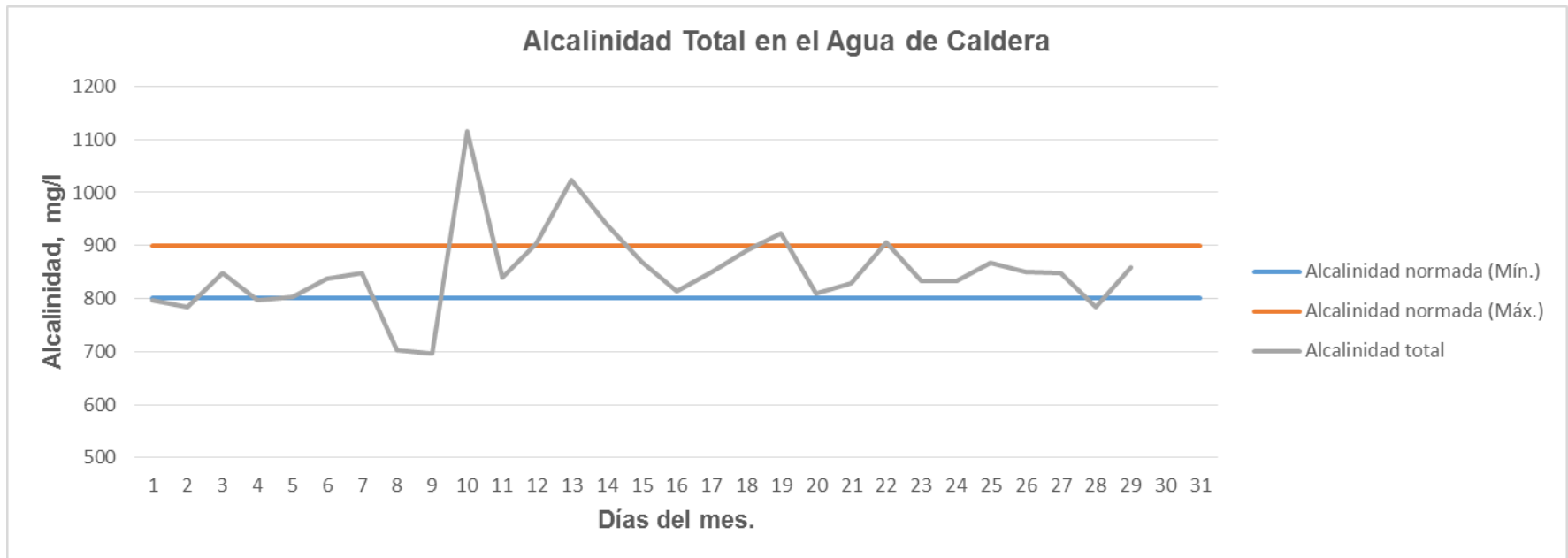
Gráfica # 3.2 Comportamiento de los cloruros en el agua de caldera para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.3 Resultados de los análisis de la alcalinidad total realizados al agua de caldera.

Días del mes (enero)	Alcalinidad Total normada (Mín.)	Alcalinidad Total normada (Máx.)	Alcalinidad Total
1	800	900	796
2	800	900	783.75
3	800	900	884
4	800	900	796
5	800	900	803.25
6	800	900	837.5
7	800	900	848.5
8	800	900	702.75
9	800	900	696
10	800	900	1115.5
11	800	900	840
12	800	900	903.5
13	800	900	1024
14	800	900	940.5
15	800	900	870
16	800	900	813
17	800	900	850
18	800	900	890
19	800	900	922
20	800	900	809.5
21	800	900	829
22	800	900	906.5
23	800	900	833
24	800	900	832.5
25	800	900	866.5
26	800	900	849.5
27	800	900	847.5
28	800	900	783
29	800	900	859.25
30	800	900	
31	800	900	

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”



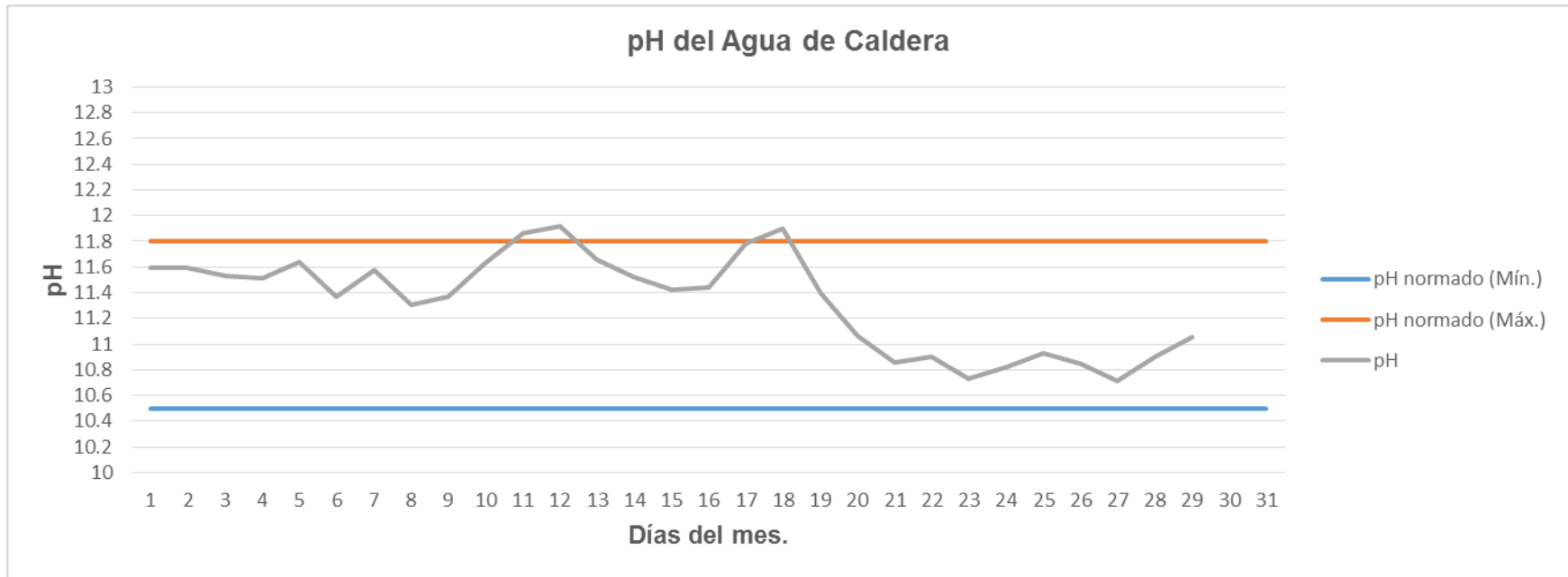
Gráfica # 3.3 Comportamiento de la alcalinidad total en el agua de caldera para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.4 Resultados de los análisis del pH realizado al agua de caldera.

Días del mes (enero)	pH normado (Mín.)	pH normado (Máx.)	pH
1	10.5	11.8	11.595
2	10.5	11.8	11.59
3	10.5	11.8	11.53
4	10.5	11.8	11.515
5	10.5	11.8	11.635
6	10.5	11.8	11.37
7	10.5	11.8	11.575
8	10.5	11.8	11.31
9	10.5	11.8	11.365
10	10.5	11.8	11.63
11	10.5	11.8	11.86
12	10.5	11.8	11.92
13	10.5	11.8	11.66
14	10.5	11.8	11.52
15	10.5	11.8	11.42
16	10.5	11.8	11.44
17	10.5	11.8	11.78
18	10.5	11.8	11.9
19	10.5	11.8	11.4
20	10.5	11.8	11.06
21	10.5	11.8	10.86
22	10.5	11.8	10.9
23	10.5	11.8	10.73
24	10.5	11.8	10.82
25	10.5	11.8	10.93
26	10.5	11.8	10.85
27	10.5	11.8	10.71
28	10.5	11.8	10.9
29	10.5	11.8	11.05
30	10.5	11.8	
31	10.5	11.8	

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”



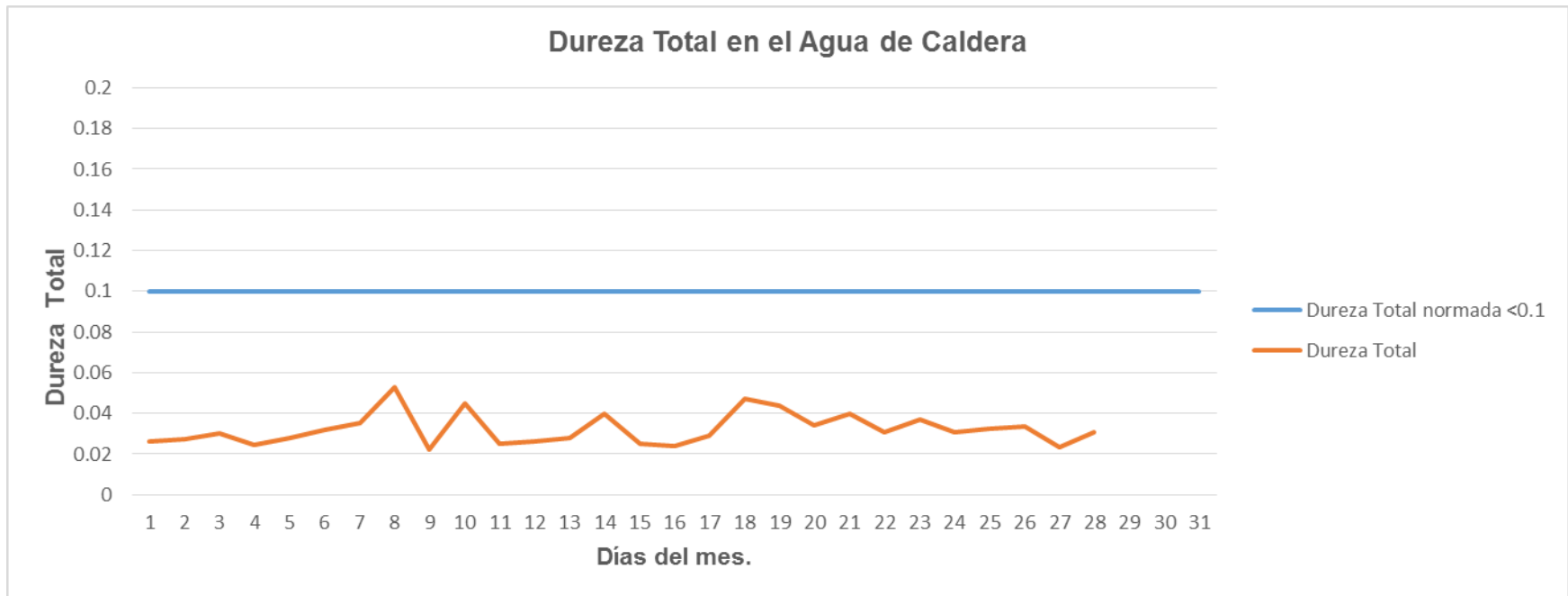
Gráfica # 3.4 Comportamiento del pH en el agua de caldera para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.5 Resultados de los análisis de la dureza total realizados al agua de caldera.

Días del mes (enero)	Dureza Total normada < 0.1	Dureza Total
1	0.1	0.026
2	0.1	0.0275
3	0.1	0.03
4	0.1	0.0245
5	0.1	0.028
6	0.1	0.032
7	0.1	0.035
8	0.1	0.053
9	0.1	0.022
10	0.1	0.045
11	0.1	0.025
12	0.1	0.026
13	0.1	0.028
14	0.1	0.04
15	0.1	0.025
16	0.1	0.024
17	0.1	0.029
18	0.1	0.047
19	0.1	0.044
20	0.1	0.034
21	0.1	0.04
22	0.1	0.031
23	0.1	0.037
24	0.1	0.031
25	0.1	0.0325
26	0.1	0.0335
27	0.1	0.0235
28	0.1	0.031
29	0.1	
30	0.1	
31	0.1	

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”



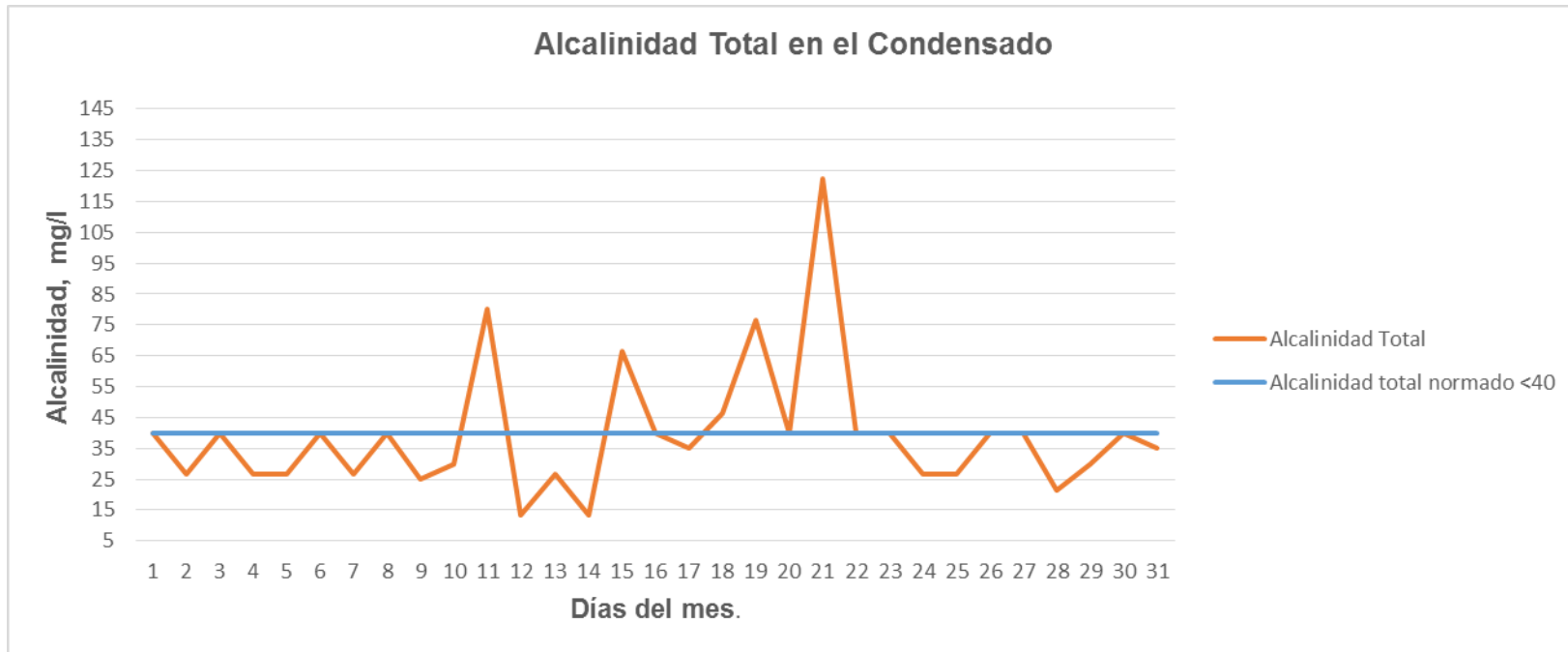
Gráfica # 3.5 Comportamiento de la dureza total en el agua de caldera para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.6 Resultados de los análisis de la alcalinidad total realizados al condensado.

Días del mes (enero)	Valor normado < 40	Alcalinidad total
1	40	40
2	40	26.5
3	40	40
4	40	26.5
5	40	26.5
6	40	40
7	40	26.5
8	40	40
9	40	25
10	40	30
11	40	80
12	40	13.5
13	40	26.5
14	40	13.5
15	40	66.5
16	40	40
17	40	35
18	40	46.5
19	40	76.5
20	40	40
21	40	122.5
22	40	40
23	40	40
24	40	26.5
25	40	26.5
26	40	40
27	40	40
28	40	21.5
29	40	30
30	40	40
31	40	35

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”



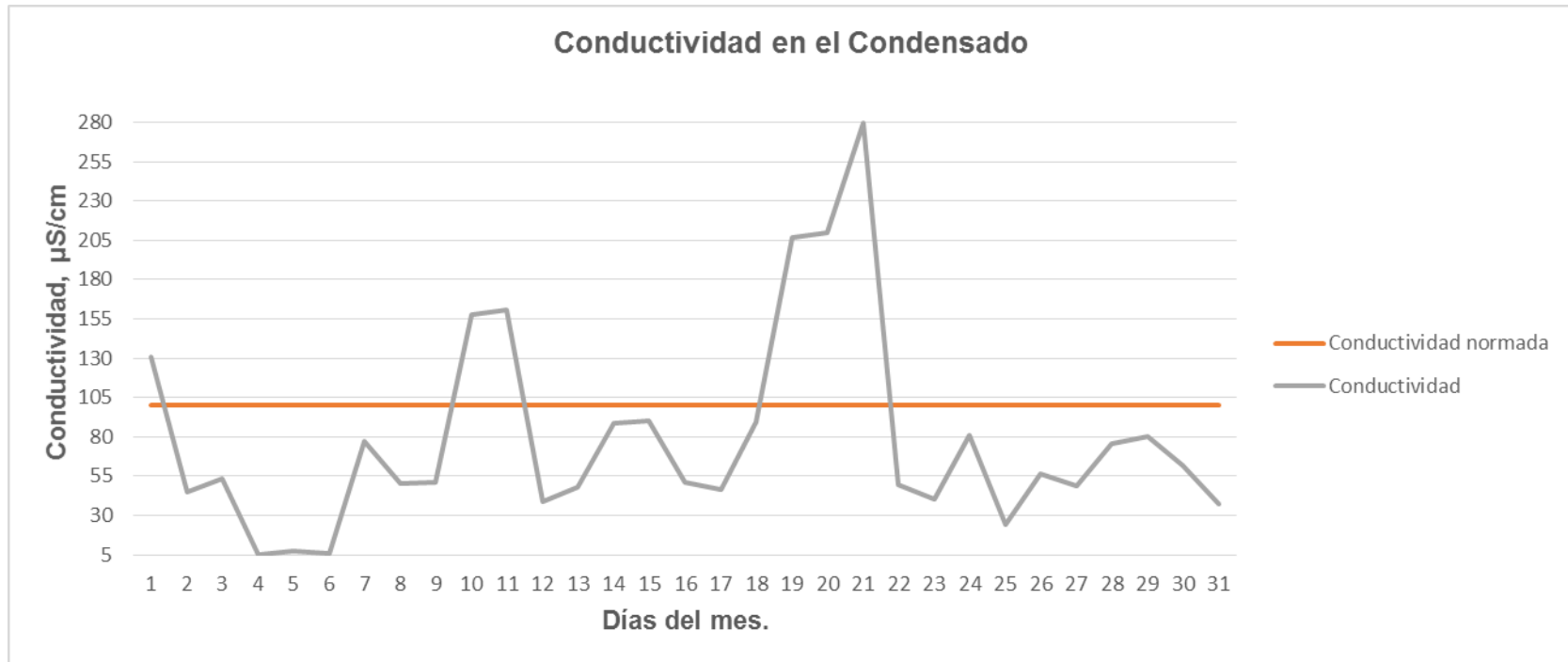
Gráfica # 3.6 Comportamiento de la alcalinidad total en el condensado para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.7 Resultados de los análisis de la conductividad realizados al condensado.

Días del mes (enero)	Conductividad normado ≤ 100	Conductividad
1	100	130.5
2	100	44.7
3	100	53.3
4	100	5.21
5	100	7.7
6	100	5.9
7	100	77.2
8	100	50.1
9	100	51
10	100	157.9
11	100	160.9
12	100	38.8
13	100	47.7
14	100	89
15	100	89.8
16	100	50.9
17	100	46.8
18	100	89.2
19	100	207
20	100	210
21	100	280
22	100	49.4
23	100	40.7
24	100	80.6
25	100	23.9
26	100	56.5
27	100	48.9
28	100	75.6
29	100	80
30	100	62
31	100	36.9

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”



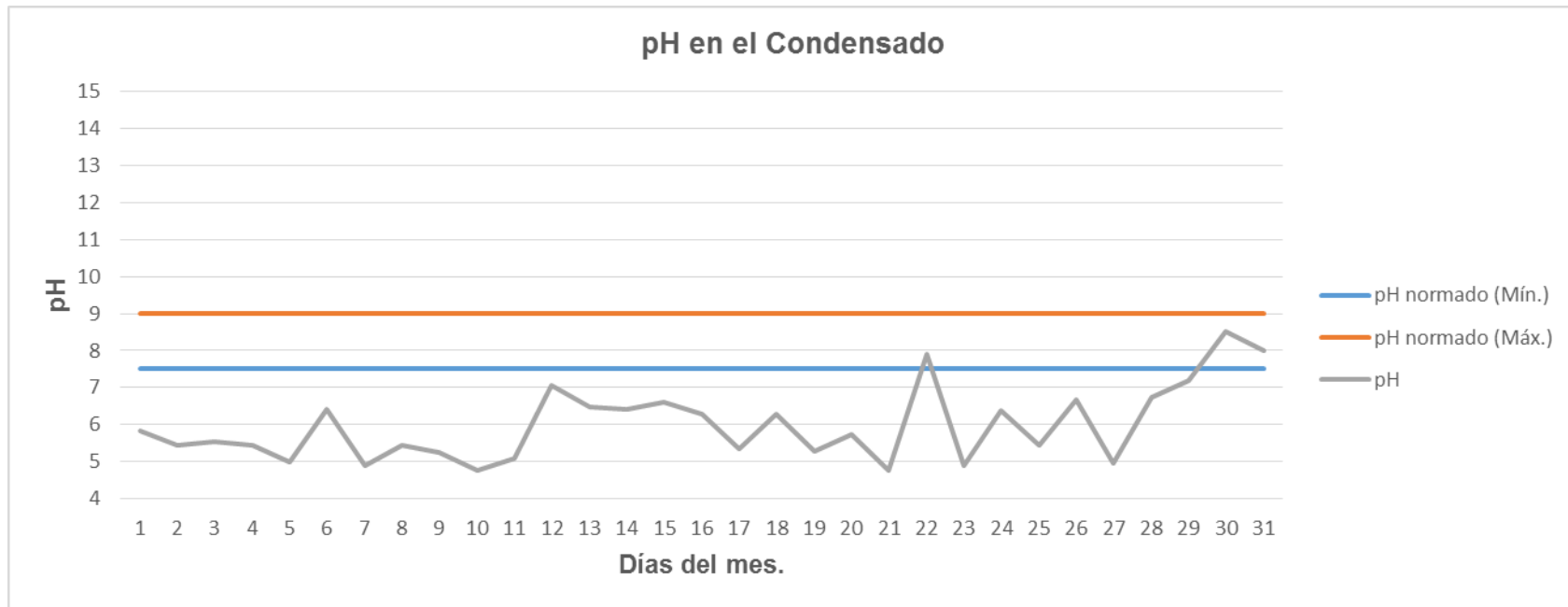
Gráfica # 3.7 Comportamiento de la conductividad en el condensado para el mes de enero.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Tabla # 3.8 Resultados de los análisis del pH realizados al condensado.

Días del mes (enero)	pH normado (Mín.)	pH normado (Máx.)	pH
1	7.5	9	5.82
2	7.5	9	5.45
3	7.5	9	5.54
4	7.5	9	5.43
5	7.5	9	5
6	7.5	9	6.41
7	7.5	9	4.9
8	7.5	9	5.43
9	7.5	9	5.25
10	7.5	9	4.76
11	7.5	9	5.1
12	7.5	9	7.06
13	7.5	9	6.48
14	7.5	9	6.43
15	7.5	9	6.62
16	7.5	9	6.28
17	7.5	9	5.35
18	7.5	9	6.3
19	7.5	9	5.27
20	7.5	9	5.73
21	7.5	9	4.76
22	7.5	9	7.9
23	7.5	9	4.88
24	7.5	9	6.38
25	7.5	9	5.45
26	7.5	9	6.68
27	7.5	9	4.95
28	7.5	9	6.75
29	7.5	9	7.2
30	7.5	9	8.5
31	7.5	9	8

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”



Gráfica # 3.8 Comportamiento del pH en el condensado para el mes de enero.

Las tablas y gráficas de control correspondientes al estudio realizado a los meses de febrero y marzo se encuentran en los **anexos del 6 al 37**.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Se puede observar en las tablas de alcalinidad total y de pH para el agua de caldera, que los valores de los mismos son superiores a los especificados en la tabla # 1.2 del capítulo I, a la presión de trabajo de la caldera de 0 hasta 300 psig; esto se debe al mal tratamiento que recibe el agua de alimentación en la planta de tratamiento químico donde no se elimina alcalinidad total.

3.1.1. Resultados de los análisis realizados en el laboratorio al agua inicial (agua potable).

Los análisis de las muestras de agua potable se realizan con una frecuencia mensual, los datos obtenidos son recopilados en el documento No RRF-DO-IT-19-05-03. **Ver tabla # 3.25.**

Los indicadores analizados son los siguientes:

- Dureza total
- Dureza carbonatada
- Alcalinidad total
- pH
- Cloruros
- Sulfatos
- Conductividad
- Hierro
- Cobre

Se tomó como muestra de los análisis los realizados en el año 2013 y los tres primeros meses del año 2014, (enero, febrero y marzo).

La tabla muestra los resultados de los análisis para el año 2013 y 2014.

Tabla # 3.25 Resultados de los análisis de laboratorio realizados al agua inicial (agua potable) para el año 2013 y 2014.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de

<i>Petróleo "Camilo Cienfuegos"</i> Sistema de Gestión Integrado									Documento No:	
Reporte de Análisis de laboratorio al Agua Inicial									RRF-DO-IT-19-05-03	
UBICAC	Indicador	Norma	Fecha	8/01/13	15/02/13	12/03/13	1/04/13	1/05/13	3/06/13	1/07/13
	Dt	Reportar mg/l		235	227.7	210.24	208.05	196.36	139.2	138.04
	DC	Reportar mg/l		218.06	228.06	201.48	203.36	191.42	132.23	138.12
	AT	Reportar mg/l		220.2	220.2	198.18	176.16	176.18	132.12	132.12
Agua Inicial	pH	6.5-8.5	Mensual	8.2	7.84	7.63	7.5	7.75	8.13	7.49
	Cloruros	≤ 50 mg/l		37.71	37.71	38.89	37.71		33.44	33.44
	Sulfatos	Reportar mg/l		13.15	13.15	13.89	13.06	12.90	9.1	9.07
	Conductividad	Reportar μs/cm		493	493	470	497	490	375	371
	Hierro	Reportar mg/l		0.021	0.021	0.09	0.065	0.13	0.15	0.095
	Cobre	Reportar mg/l		0.087	0.087	0.032	0.039	0.022	0.032	0.022
UBICAC	Indicador	Norma	Fecha	2/09/13	1/10/13	4/11/13	2/12/13	6/01/14	4/02/14	4/03/14
	Dt	Reportar mg/l		195.16	147.50	190.4	238	238	277.4	247
	DC	Reportar mg/l		190.4	147.56	183.20	230.38	228.48	258	231
	AT	Reportar mg/l		176.16	132.12	176.16	198.18	220.20	197.10	197.1
Agua Inicial	pH	6.5-8.5	Mensual	8.16	7.18	8.16	7.91	8.10	8.71	8.02
	Cloruros	≤ 50 mg/l		34.55	28.98	41.24	41.24	39.1	19	
	Sulfatos	Reportar mg/l		10.21	9.20	10.76	11.42	17.01	23	30
	Conductividad	Reportar μs/cm		495	399	444	531	571	537	518

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

	Hierro	Reportar mg/l		0.089	0.11	0.25	0.031	0.25	0.11	0.11
	Cobre	Reportar mg/l		0.011	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Los resultados de los parámetros de impurezas analizados en el agua inicial indican altos valores, se puede decir en términos generales que el agua inicial para la generación de vapor en la Refinería es de baja calidad por lo que se requiere de un mejor tratamiento.

El **anexo # 37** muestra una tabla resumen de un estudio realizado al agua cruda procedente de la presa del río Saramaguacán en Nuevitas, Camagüey, se puede observar que los valores de impurezas son menores que los registrados en la presa Damují en el municipio de Abreus, en Cienfuegos.

3.1.2. Valoración de los resultados de alcalinidad total obtenidos en los análisis de laboratorio realizados al agua inicial (agua potable) y agua de alimentación a la caldera.

Los análisis realizados al agua inicial demuestran que la alcalinidad total contenida en la misma es alta, el valor más alto reportado es de 220.20 mg/l.

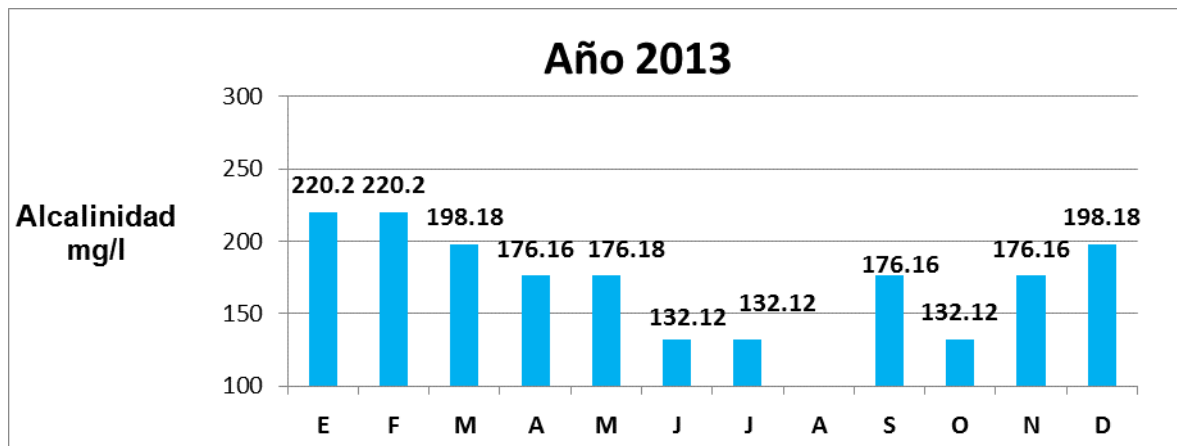
Se graficó la alcalinidad total mediante un gráfico de barras para ver el comportamiento de la misma en el año 2013 y los tres primeros meses de año 2014, (enero, febrero, marzo).

El valor más bajo de alcalinidad total es de 132.12 mg/l y se reportan en los meses de junio, julio y octubre, esto se debe a que son los meses de la primavera donde por lo general se reportan los mayores acumulados de lluvia.

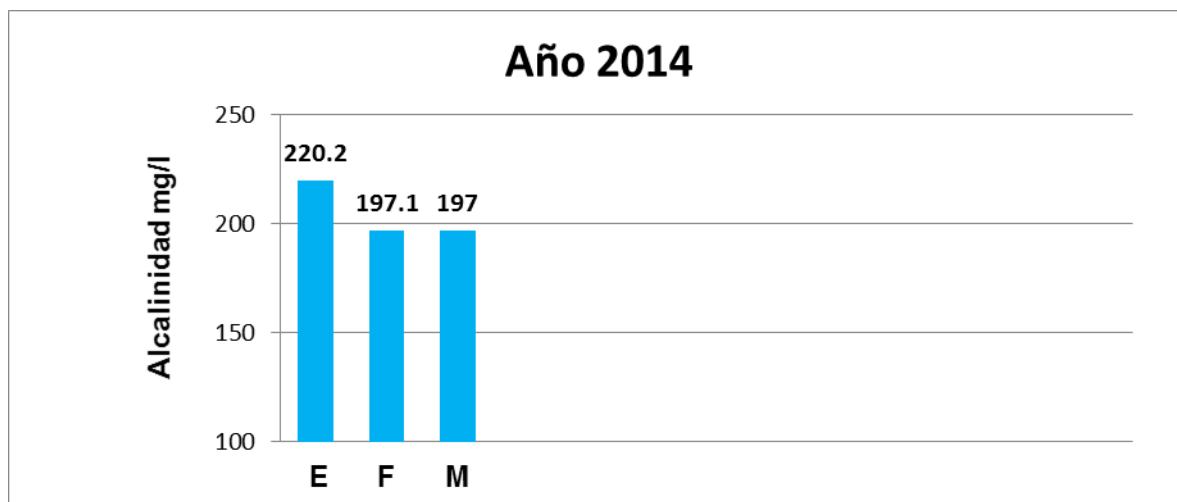
Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Se observa que los valores de alcalinidad van en decrecimiento a partir del mes de abril hasta octubre, después se puede ver un aumento de la misma en los restantes meses, que no se encuentran en el periodo de lluvia sino que son los meses más secos del año.

En las temporadas de lluvia la concentración de impurezas en el agua de acueductos disminuyen, porque al llover fluyen corrientes en la misma y por tanto las impurezas ya no están reconcentradas. Es por esto que se debe los bajos valores de alcalinidad total en los meses de mayores precipitaciones.



Gráfica # 3.25 Comportamiento de la alcalinidad total en el año 2013.



Gráfica # 3.26 Comportamiento de la alcalinidad total en el año 2014.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Valoración de los resultados de alcalinidad total obtenidos en los análisis de laboratorio realizados al agua de alimentación a la caldera.

Se promediaron los valores tomados diarios de alcalinidad total para así obtener un valor por mes, para los meses que han sido estudiados (enero, febrero, marzo).

Tabla # 3.26 Valor promedio de alcalinidad total por mes.

Parámetros	Enero	Febrero	Marzo
Alcalinidad total ppm	208.2	195.49	194.2

Los valores obtenidos se compararon con las especificaciones del agua de alimentar a la caldera sobre la base de las recomendaciones de la Norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV.([Oelker, Behn Arnulfo, n.d.](#))

Tabla # 3.27 Requerimientos de agua de alimentación a la caldera según la norma Británica BS-2486

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

La tabla # 3.27 refleja que los valores de alcalinidad total en el agua de alimentación a la caldera deben estar por debajo de los 25 ppm, sin embargo el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo de Cienfuegos se encuentra por encima de los 190 ppm. El agua se introduce con los mismos

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

valores de alcalinidad que trae el agua inicial, por no contar con un proceso de eliminación de la misma en la planta de tratamiento químico de agua, esto a su vez trae inconvenientes en el proceso de generación de vapor ya que un aumento de la alcalinidad en el agua de caldera por encima de los 700 ppm provoca espuma en el interior del domo y arrastres en el vapor. Para mantener los valores de alcalinidad requeridos dentro de la caldera se aumentan las purgas en la misma lo que hace esto el proceso ineficiente.

3.1.3. Consideraciones generales de los análisis realizados en el laboratorio.

1. Los porcentajes de extracciones en la caldera son altos, es por esto que los gráficos de control muestran un buen comportamiento de los parámetros analizados.
2. Los valores de alcalinidad total del agua de alimentar a la caldera se encuentran muy por encima del valor requerido, por no ser eliminada previamente en los filtros de H-Cationita, es por esto que el control de la misma se mantiene mediante las purgas en la caldera, de ahí los altos valores de las extracciones.
3. Las gráficas de pH en el condensado indican valores ácidos de los mismos, los cuales se deben a la presencia de los ácidos carbónicos provocados por la presencia de CO₂.
4. Los menores valores de alcalinidad total reportados en el agua inicial se encuentran en los meses de lluvia, esto se debe a que las concentraciones de las impurezas disminuyen en este período.

3.2. Valoración de los parámetros de operación.

3.2.1. Temperatura.

La temperatura es un parámetro para el cual se diseña el equipo y puede ser variada según las necesidades del proceso. Es controlada automáticamente por los flujos de aire y combustible.

3.2.2. Presión.

La presión de trabajo de la caldera es un parámetro de diseño del equipo, está en función de las necesidades del proceso. Es controlada automáticamente por los flujos de aire y combustible.

3.2.3. Flujos.

El flujo de vapor es un parámetro que está en función de la demanda del proceso. Ante un aumento de esta automáticamente aumenta el flujo de aire y combustible para mantener la presión y la temperatura deseadas.

3.3. Inspecciones realizadas a las calderas.

Las inspecciones a las calderas de vapor se realizan con el objetivo de disminuir las posibilidades de averías por fallas de materiales durante su operación, establecer los ciclos de limpieza y mantenimiento a que se someten estos equipos para garantiza el buen funcionamiento de los mismos y aumentar la durabilidad y la seguridad operacional.

3.3.1. Responsables de las inspecciones y mantenimientos de las calderas de vapor.

Las inspecciones a las que son sometidas las calderas de vapor son realizadas por la misma empresa específicamente por el grupo de Inspección Mecánica, no existe un grupo o institución de otra entidad encargado de realizar la tarea de inspección y mantenimiento.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Los inspectores técnicos que atienden esta actividad son responsables de realizar las inspecciones y controles de los trabajos, así como emitir la certificación de las pruebas. El documento refleja todas las deficiencias encontradas por la inspección, así como la recomendación por la que debe guiarse los responsables del mantenimiento para darle solución al problema identificado.

El jefe de taller es responsable de la limpieza, preparación y mantenimiento de las calderas para su posterior inspección, así como garantizar las condiciones de seguridad para la realización de estos trabajos.

Según el tipo de deficiencia encontrada el trabajo lo realiza los técnicos especializados, en caso que sea soldadura los responsables son los técnicos en esta especialidad, si la inspección detecta algún tipo de corrosión son los especialistas en esta área los encargados de resolver el problema.

Los **anexos # 39 y 40** reflejan inspecciones realizadas en este año a la caldera, así como las recomendaciones hacia la solución de las mismas.

3.3.2. Tipos de inspecciones realizadas.

Los tipos de inspección son:

- Inspección externa.
- Inspección interna.

Estas inspecciones las realizan los técnicos del Grupo de Inspección.

3.3.2.1. Inspección externa

Esta inspección se realiza con el equipo operando.

El inspector chequea externamente las condiciones siguientes:

1. Arcos.
2. Hinchazones, sobresalientes, abolladuras, bolsas, pandeos.
3. Oxidación, cáscaras de óxido o levantamientos de pintura.
4. Grietas, quebraduras, etc.
5. Corrosión externa.
6. Depositiones externas.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

7. Salideros, filtraciones, goteos por la armazón o demás partes de la caldera.
8. Daños, deformaciones y corrosión en los accesorios de tuberías.

La inspección externa se plasma en el modelo REP-14-IP/I 21-01. **Ver Anexo # 41.**

Se usa una hoja diferente para cada caldera. Esta revisión se hace mensual (como mínimo) y se lleva a la carpeta del equipo, archivándose por un tiempo de 2 años. En caso de no trabajar continuamente la caldera, entonces se le realiza una inspección por lo mínimo, en cada ciclo de tiempo que esté funcionando.

3.3.2.2. Inspección interna.

Esta inspección se realiza con el equipo fuera de explotación y lleva implícito previamente, una inspección preliminar que se realiza con el equipo en explotación. Esta última se hace antes de parar el equipo y cumple con todo lo dado en el punto 3.4.2.1.

3.3.2.2.1. Intervalos de inspección interna.

- Después de cada parada, si tiene más de 8 000 horas de trabajo.
- En caso de trabajo continuo, en cada parada, pero los intervalos de inspección no pueden superar más de un año entre una inspección y otra.
- En caso de que se produzca una avería o salidero por los tubos la caldera se abrirá para su inspección y se aprovecha la realización de la inspección interna.

3.3.2.2.2. Trabajos que incluyen la inspección interna de la caldera.

➤ **En el interior del hogar.**

- Realización de una inspección visual interior para detectar si existen defectos en el interior del hogar de la caldera.
- Revisar visualmente la unión de los tubos con los domos y detectar posibles grietas en los mismos.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo "Camilo Cienfuegos"

- Medición de los espesores de las paredes de los tubos con los equipos de medición ultrasónicos, haciendo muestreos para detectar posibles puntos con bajo espesor y otras fallas en los mismos. Llevar los registros y analizar los puntos críticos.
- Revisión de los tubos mediante golpeo de los mismos utilizando martillo para detectar posibles fallas de los materiales.
- Revisión del refractario mediante la observación visual del estado de los ladrillos.
- Revisar los diámetros exteriores de los tubos para detectar deformaciones de los mismos, mediante el empleo de calibradores. Anotar las deformaciones por creep que han ocurrido, no se aceptan tubos con deformaciones de diámetros mayores a 1.03 DN (diámetro nominal) para diámetros iguales o mayores a 150 mm y mayor a 1.05 DN para diámetros menores a 150 mm.
- **En el interior de los domos.**
 - Revisión del estado de la superficie interior del domo, corrosión, depósitos de sales u otros, erosión, deformaciones, grietas, etc.
 - Revisión visual del mandrilado en la unión de los tubos con el domo.
 - Revisión del estado de las bandejas del domo (comprobar las pérdidas de espesor y en caso que sea necesario se sustituyen).
 - Medición del espesor de las paredes del domo, utilizar modelo REP-14-IP/I 21-04. **Ver Anexo # 42.**

3.3.3. Prueba hidráulica.

La prueba hidráulica se realiza a estos equipos después de cada reparación o intervención de mantenimiento en los tubos, tuberías, domo, sobrecalentador o economizador. Esta se realiza según lo establecido por el pasaporte técnico del equipo cumpliendo con los requerimientos del fabricante o de no tenerse esto se hace según la instrucción técnica EP-14-IP/I 42 "Instrucción para la realización de las pruebas hidráulicas y neumáticas".

3.4. Cálculo del porcentaje de extracciones en la caldera y determinación de la energía pérdida en las mismas.

3.4.1. Cálculo del porcentaje de extracciones en la caldera.

Para el cálculo del porcentaje de purgas en la caldera se utilizó la ecuación de la página 175 del libro Tratamiento químico del agua, de Lipesa. (Lipesa, 1998)

$$\%Purga = \frac{\text{Parámetro X en el agua de alimentación}}{\text{Parámetro X en el agua de caldera}} * 100 \quad (\text{ec.3.1})$$

Donde:

X= Conductividad

El porcentaje de purgas se calculó para el mes de marzo, calculando un promedio de la conductividad para el agua de alimentación y el agua de la caldera.

Conductividad del agua de alimentación = 600.26 $\mu\text{s/cm}$

Conductividad del agua de caldera = 3474.4 $\mu\text{s/cm}$

$$\%Real Purga = \frac{600.26}{3474.4} * 100$$

$$\%Real Purga = 17.27\%$$

Se debe tener en cuenta que normalmente en una caldera se mantiene un 5% de purgas para el control de sólidos totales disueltos.

$$\% Exceso de Purga = \%Real de Purga - \%Purga Teórico \quad (\text{ec.3.2})$$

$$\% Exceso de Purga = 17.27\% - 5\%$$

$$\% Exceso de Purga = 12.27\%$$

3.4.2. Determinación de la energía pérdida por extracciones.

Datos.

Presión de trabajo de la caldera P=12.5 atm

Temperatura del vapor saturado T=190 °C

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

En la Steam Table se busca el valor de la entalpia (H), a dicha presión y temperatura

$$H = 192.81 \text{ Kcal/kg}$$

Producción promedio de vapor por hora = 20 tn/h

Porcentaje de purgas continua (en exceso) = 12.27%

*Agua purgada en exceso = Prod. promedio de vapor * % purga en exceso*
(ec.3.3)

$$\text{Agua purgada en exceso} = 20 \text{ ton/h} * 12.27\%$$

$$\text{Agua purgada en exceso} = 2.45 \frac{\text{ton} * 1000 \text{ kg}}{\text{h} \quad 1 \text{ ton}}$$

$$\text{Agua purgada en exceso} = 2450 \text{ kg/h}$$

*Energía perdida = Cantidad de agua purgada * Entalpía* (ec.3.4)

$$\text{Energía perdida} = 2450 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 192.81 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{Energía perdida} = 472\,384.50 \text{ kcal/h}$$

3.5. Evaluación Económica por pérdidas de agua y combustible causado por el exceso de purgas en las calderas.

3.5.1. Evaluación del costo económico del agua que se pierde en el exceso de purgas en las calderas.

Datos:

Producción promedio de vapor por hora = 20 ton/h

Tiempo de trabajo de las calderas = 24 horas

Exceso de purga continua = 12.27%

$$\rho_{\text{agua}} (190^\circ \text{C}) = 876.076 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua purgada en exceso} = 2.45 \text{ ton/h}$$

Análisis dimensional

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

$$2450 \frac{kg}{h} * \frac{1 m^3}{876.076 kg} = 2.79 m^3/h$$

Valor en cuc del m³ de agua

$$1m^3 \text{ de agua} = 1.50 \text{ cuc}$$

Costo del agua que se pierde por el exceso de purgas en la caldera por hora

$$\text{Costo del agua por exceso de purga} = 2.79 \frac{m^3}{h} * \frac{1.50 \text{ cuc}}{1 m^3} \quad (\text{ec.3.5})$$

$$\text{Costo del agua por exceso de purga} = 4.18 \text{ cuc/h}$$

Costo del agua que se pierde por purgas para un día de trabajo de la caldera

$$\text{Costo del agua por exceso de purgas} = \frac{4.18 \text{ cuc}}{h} * \frac{24 h}{1 \text{ día}} \quad (\text{ec.3.6})$$

$$\text{Costo del agua por exceso de purgas} = 100.32 \text{ cuc/día}$$

3.5.2. Evaluación del costo económico del combustible que se pierde por exceso de purgas.

Datos usados:

$$\text{Energía perdida} = 472\,384.50 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Poder calórico del fuel} = 9500 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{Precio del fuel de insumo} = 116 \text{ cuc/bbl}$$

$$\rho_{\text{fuel}} = 960 \text{ kg/m}^3$$

$$1m^3 = 6.29 \text{ bbl}$$

Cálculo del gasto de fuel a partir del valor de energía que se pierde.

$$\text{Gasto de combustible} = \frac{\text{Energía perdida}}{\text{Poder calórico del fuel}} \quad (\text{ec.3.7})$$

$$\text{Gasto de combustible} = \frac{472\,384.50 \text{ kcal/h}}{9500 \text{ kcal/kg}}$$

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

$$\text{Gasto de combustible} = 49.72 \text{ kg/h}$$

$$\text{Gasto de combustible} = 49.72 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 24\text{h} = 1193.28 \text{ kg/día}$$

$$\text{Gasto de combustible} = \frac{1193.28 \text{ kg fuel/día}}{\rho_{\text{fuel}}} = \frac{1193.28 \text{ kg fuel/día}}{960 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Gasto de combustible} = 1.24 \text{ m}^3 \text{ fuel/día}$$

Cantidad de barriles de fuel gastados por día

$$\text{Cantidad de barriles de fuel} = 1.24 \text{ m}^3 \text{ fuel/día} * \frac{6.29 \text{ bbl fuel}}{1 \text{ m}^3} \quad (\text{ec.3.8})$$

$$\text{Cantidad de barriles de fuel} = 7.79 \text{ bbl fuel/día}$$

Costo del fuel que se pierde por purgas

$$\text{Costo del fuel} = \text{Cantidad de barriles} * \text{Precio del fuel} \quad (\text{ec.3.9})$$

$$\text{Costo del fuel} = 7.79 \text{ bbl fuel/día} * 116 \text{ cuc/bbl}$$

$$\text{Costo del fuel} = 903.64 \text{ cuc/día}$$

3.5.3. Costo económico total por exceso de purgas.

$$\text{Costo total por exceso de purgas} = \text{Costo del agua} + \text{Costo del fuel} \quad (\text{ec.3.10})$$

$$\text{Costo total por exceso de purgas} = 100.32 \text{ cuc/día} + 903.64 \text{ cuc/día}$$

$$\text{Costo total por exceso de purgas} = 1003.96 \text{ cuc/día}$$

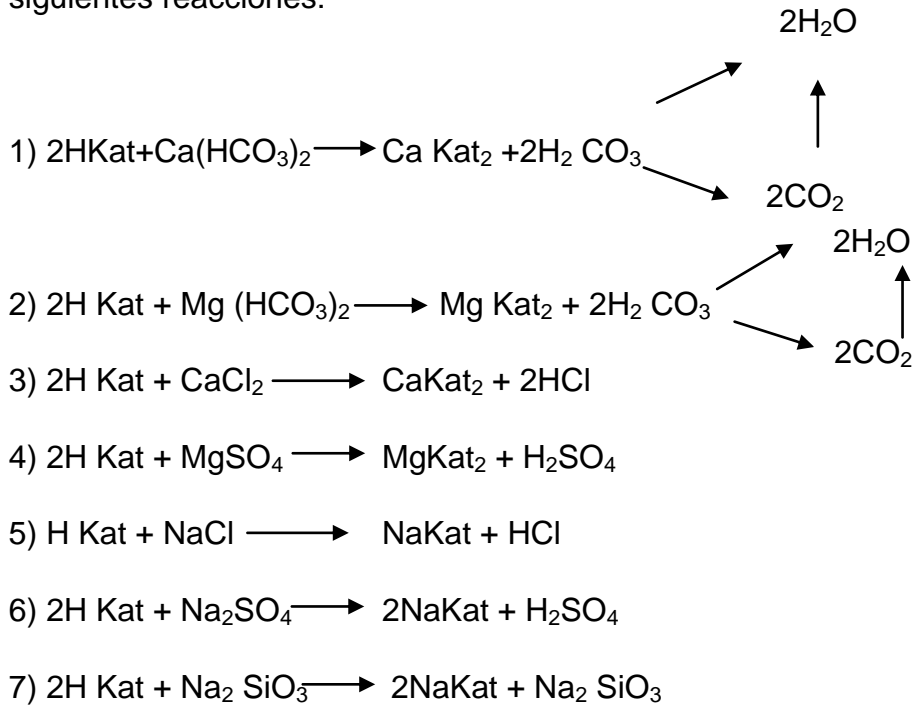
3.6. Propuestas de mejoras al sistema de tratamiento químico para la disminución de alcalinidad del agua de alimentación en la caldera.

3.6.1. Tratamiento de desmineralización parcial, (ciclo ácido).

El método del tratamiento de agua mediante el intercambio de iones de H-cationitas consiste en la filtración del agua a tratar a través de la cationita

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

regenerada con el ácido. El proceso de esta filtración de las cationitas disueltas en el agua a tratar se intercambia por el hidrógeno. Con esto se desarrollan las siguientes reacciones:



Como se desprenden de las reacciones señaladas los cationes de dureza Ca^{++} y Mg^{++} se intercambian por hidrógeno y el ion bicarbonato HCO_3^- que forma la dureza carbonatada, se destruye formando el ácido carbónico. Los aniones de sales de dureza permanente y de sales de sodio forman los ácidos minerales, eliminándose de esta forma la alcalinidad en el agua.

3.6.2. Restauración del sistema de depuración de condensado.

Son varios los motivos que exigen una recuperación integral del condensado de vapor. Al ser en realidad «agua destilada», su utilización como alimentación supone una disminución del costo del agua y de su tratamiento, un aumento de los ciclos de operación de la propia caldera y consecuentemente la posibilidad de reducción de las purgas necesarias para conseguir el nivel de sólidos exigido en la caldera. El calor contenido en el condensado es, a su vez, una fuente de ahorro de combustible.

3.6.3. Propuesta de una planta de osmosis inversa.

La Osmosis Inversa es un sistema estudiado hace tiempo por las Instituciones Internacionales, el cual permite la eliminación de todas las impurezas presente en el agua.

La Osmosis Inversa es un tratamiento, donde el agua pasa a través de una membrana para obtener agua purificada por un lado y las impurezas por otro lado, siguiendo el camino directo al desagüe. La Osmosis Inversa elimina el 99 % de las impurezas del agua.

De todos los métodos depuradores de agua conocido, la Osmosis Inversa es la más adelantada y la que más garantiza una gama mayor de aplicación.

Capítulo III Resultados y discusión de la influencia de la alta alcalinidad en el agua de alimentación de la caldera en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Conclusiones parciales.

1. El cálculo del porcentaje de exceso de purgas en la caldera tienen un valor de 12.27 %.
2. La cantidad de energía perdida con respecto al porcentaje de purgas calculado es de 472 384.50 kcal/h.
3. El estudio económico realizado demostró que los costos por purgas tienen un valor de 1003.96 cuc/día.
4. Se propuso como mejoras al proceso de tratamiento químico de agua la restauración del proceso de desmineralización parcial, el sistema de depuración de condensado y la propuesta de una planta de Osmosis Inversa.

Conclusiones generales

1. Las impurezas en el agua trae como inconvenientes la formación de incrustaciones, corrosión en las calderas y líneas y formación de espumas, es por esto que se hace necesario el tratamiento de la misma para su utilización en la generación de vapor.
2. La planta de tratamiento de agua en la Refinería de Petróleo de Cienfuegos sigue un proceso de ablandamiento, solamente es eliminada la dureza compuesta por calcio y magnesio.
3. El ciclo ácido y el sistema de depuración de condensado en la planta de tratamiento de agua se encuentran fuera de uso, por la falta de equipos e instrumentos, tales como el tambor medidor de la solución de ácido sulfúrico para la regeneración de los cationes, la Tee mezcladora de la solución y los filtros de carbón activado encargados de eliminar los residuales de los derivados del petróleo contenido en el condensado.
4. Los resultados de los parámetros analizados del agua de caldera y el condensado mostraron el cumplimiento de los valores normados. Esto se debe a los altos porciento de purgas que se tienen en la caldera para mantener la alcalinidad total en valores permisibles, ya que esta no es eliminada previamente.
5. El porciento real de purgas calculado es de 17.27%; estando establecido por normas un 5%, el exceso del 12.27% está dado por la necesidad de mantener los valores de alcalinidad normados en el agua de caldera.
6. La energía perdida en el agua purgada en exceso es de 472 384.50 kcal/h.
7. Las pérdidas económicas totales de agua y combustible por concepto de exceso de purga son de 1003.96 cuc/día.
8. Con la restauración del proceso de desmineralización parcial, o la introducción del proceso de Osmosis inversa y la utilización del condensado en el agua de alimentar, se disminuye la alcalinidad del agua de

alimentación a la caldera y por tanto los porcentos de purgas, lo que contribuye a un ahorro considerable en los costos de producción de vapor.

Recomendaciones

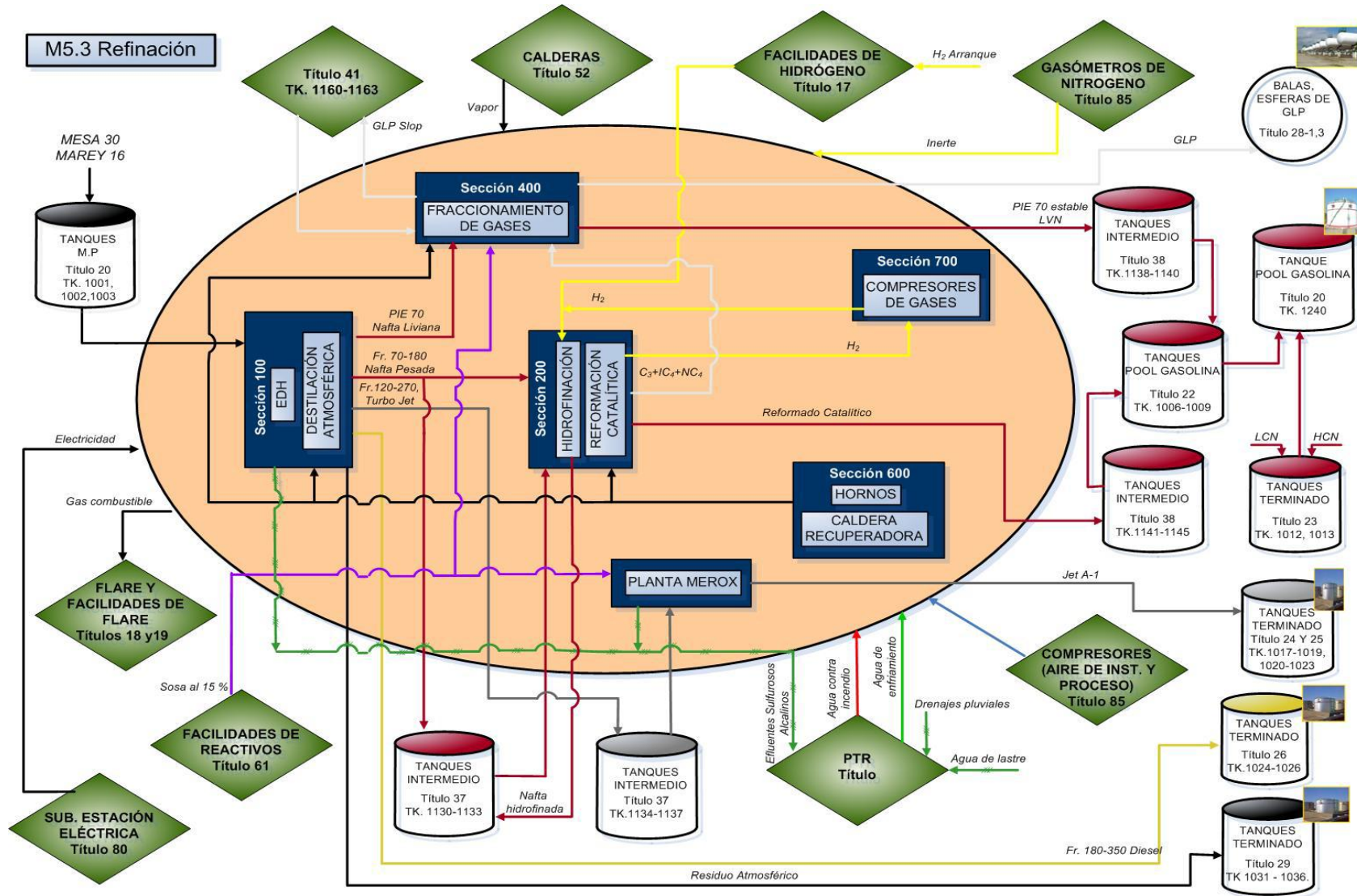
1. Colocar una válvula de control en la línea de purga continua, para que la operación sea más fiable.
2. Controlar el purgado del agua de la caldera por valores de conductividad durante un período de tiempo (un mes), así determinar los efectos en el vapor y el condensado de la alta alcalinidad.
3. Se debe restablecer el proceso de recolección de condensado en las plantas de la Refinería, para su uso como agua de reposición en las calderas.
4. Se debe realizar un estudio de factibilidad a los procesos de desalcalinización propuestos para obtener la solución más viable desde el punto de vista técnico y económico.

Bibliografía

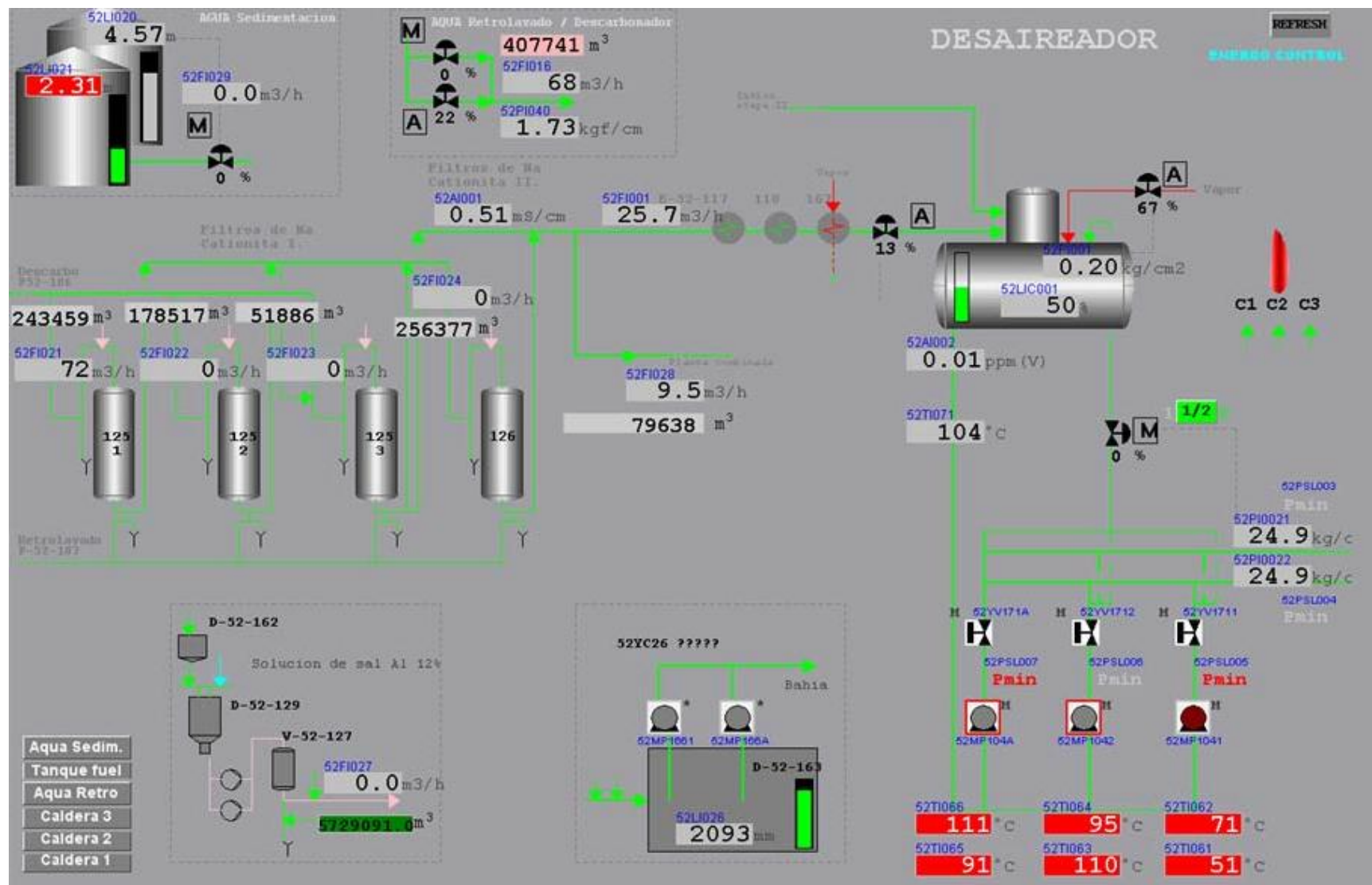
- Agua de alimentación a calderas. (2013). *Agua de alimentación a calderas*. Retrieved from <http://www.prominet.es>
- Agua latinoamericana. Productos y servicios para la industria del agua en Latinoamérica. (n.d.). Retrieved from www.aguamarket.com/temas_interés/031.asp,2002.
- Boiler water treatment chemical guidelines. (n.d.). Retrieved from <http://ffs.refiners.com>
- Boiler water treatment for kiln dry operations. (n.d.). Retrieved from <http://www.esf.edu>
- Cala Cala, Jazmin Julieth, & Ayala Cardenas, Fernando. (2005). *Diseño de una metodología para el tratamiento y acondicionamiento de agua en la producción de vapor*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Retrieved from <http://www.slideshare.net>
- Cardozo, samuel, Sánchez, Yamilet, & De Armas, Haydelba. (2011). Tratamiento de agua para la generación de vapor con un sistema de suavizado y dosificación de productos químicos. Retrieved from <http://www.cdaguas.com>
- Castro Perdomo, José Nicolás. (2013). Tratamiento del agua para calderas. Retrieved from <http://www.slideshare.net>
- Contaminación de aguas. Tratamiento de aguas residuales. (n.d.). Retrieved from <http://tratamiento-agua.8m.com/1.htm>.
- Degrémont. (n.d.). *Manual técnico del agua* (IV.).
- Días Betancourt, Raúl. (2010). *Tratamiento de aguas y aguas residuales*. (II.). La Habana: Félix Varela.
- Estcourt, Adrian. (2009, March). Boiler water treatment. Retrieved from www.awt.org
- Francisco Martín, Francisco, López Bastida, Eduardo, & Monteagudo Yanes, José Pedro. (2007). *Uso Racional del Agua*.
- Frayne, Colin. (n.d.). A brief discussion on boiler water treatment. Retrieved from <http://www.awt.org>
- García Castillo, Francisco Javier, & Colectivo de autores. (n.d.). Plantas de tratamiento de agua para la producción de agua desmineralizada en uso industriales. Retrieved from <http://www.kaesar.es>

- García Navarro, Nauris, Sabina Almayer, Yaneisis, & Morlote Hernandez, Maryvi. (2011). *Alternativa para la recuperación de condensado en la planta de proceso de la refinería Camilo Cienfuegos*. Universidad de Matanzas.
- Herrera Ortiz, Noel. (2010). *Diseño y metodología de evaluación para el sistema de tratamiento de agua del laboratorio farmacéutico “ Jilo Trigo.”* Centro Universitario José Antonio Echeverría.
- Keenan H, Joseph, & Colectivo de autores. (1988). *Thermodynamic Properties of water including vapor, liquid and solid phases*.
- Lipesa. (1998). *Tratamiento químico del agua*. (II.). Caracas, Venezuela: Impregraf.
- López, Carlos. (n.d.). Descripción del funcionamiento de un generador de vapor. Retrieved from <http://www.monografias.com>
- Marticorena Collazo, José. (1975). *Manual técnico para operadores de tratamiento de aguas*. La Habana: Científico-Técnica.
- Moreno Benavides, Jose alberto. (2011, de agosto). *Diseño de Planta de Tratamiento de agua de osmosis Inversa para la Empresa Dober Osmotech de Colombia LDTA*. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. Retrieved from <http://www.prominent.es>
- Nordel, Eskel. (1977). *Tratamiento de agua para la industria y otros usos. Tomo I*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Oelker Behn, Arnulfo. (n.d.). Tratamiento de aguas para calderas. Retrieved from <http://www.slideshare.net>
- Pavlov F, K. (1981). *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química*. Moscú: Editorial Mir.
- Reglamento tecnológico. Casa de calderas*. (1985). Gorki.
- Tratamiento de agua para su utilización en calderas*. (2009). Mexico DF. Retrieved from <http://www.conuee.gob.mx>
- VAPEN.SA. (2010). Manual de tratamiento de agua.
- Water treatment. (n.d.). Retrieved from <http://www.awt.org>
- (n.d.-a). Retrieved from <http://www.catarina.udlep.mx>
- (n.d.-b). Retrieved from www.ideal.es/waste/aguas.html

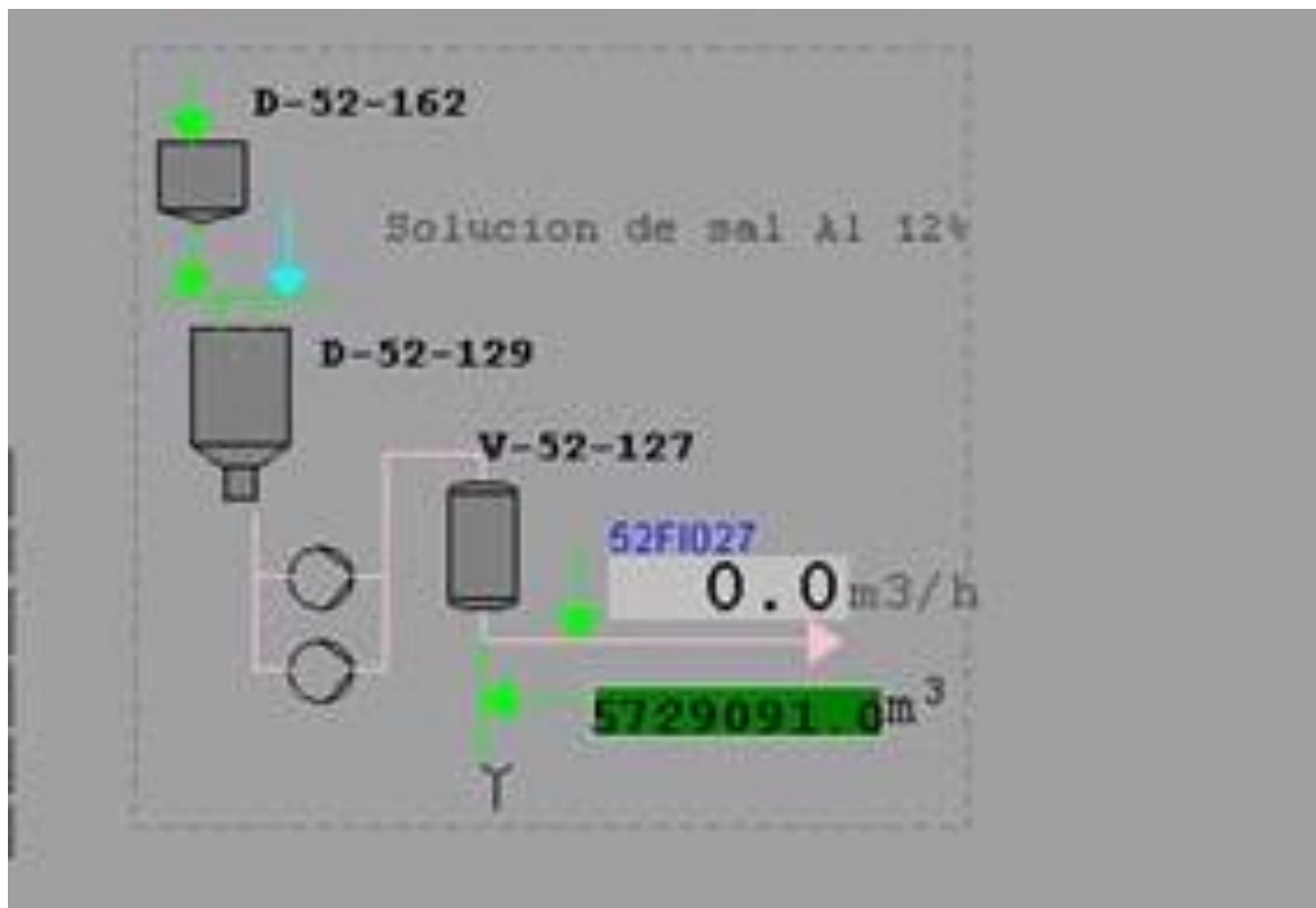
Anexo # 1 Descripción física de las diferentes plantas y facilidades de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos.



Anexo # 2 Diagrama de flujo del ciclo ácido de la planta de tratamiento químico de agua de la Refinería.



Anexo # 3 Diagrama de flujo del proceso de la preparación de sal común.



Anexo # 4. A Imágenes de corrosión en trampas, válvulas y líneas de vapor provocados por los valores ácidos de los mismos.



Anexo # 4. B Imágenes de corrosión en trampas, válvulas y líneas de vapor provocados por los valores ácidos de los mismos.



Anexo # 4. C Imágenes de corrosión en trampas, válvulas y líneas de vapor provocados por los valores ácidos de los mismos.

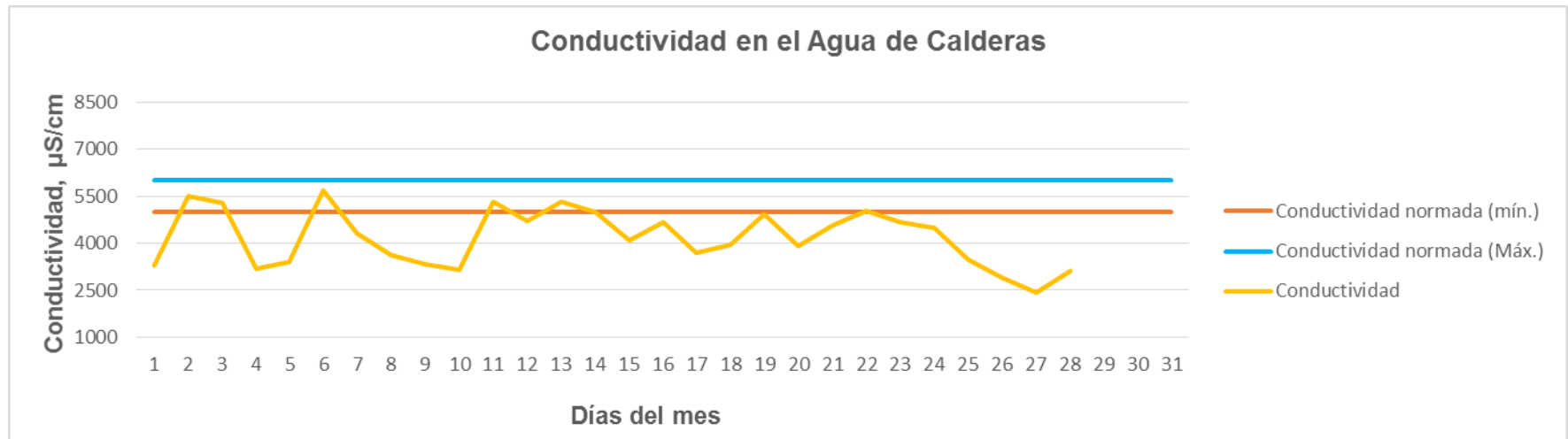


Anexo # 5 Resultados de los Análisis de Laboratorio al agua químicamente tratada

Sistema de Gestión Integrado											Documento No:				
Resultado de los Análisis de Laboratorio (Frecuente)											RRF-DO-IT-19-05-02				
UBICACIÓN	INDICADOR	NORMA	FRECUENCIA	FECHA:1/1/2014				FECHA:2/1/2014				FECHA:3/1/2014			
			Brigada:	B		C		A		B		D		A	
				07:00-19:00	19:00-07:00	07:00-19:00	19:00-07:00	07:00-19:00	19:00-07:00	07:00-19:00	19:00-07:00				
I Etapa V125-1	Dt	≤ 25 mg/l	2 veces al turno	___	___	6.5	___	2.2	1.95	1.95	2	2.15	1.5	1.5	2.15
I Etapa V125-2	Dt	≤ 25 mg/l	2 veces al turno	2	2.05	___	___	___	0.55	___	___	___	___	___	___
II Etapa V125-A	Dt	≤ 1 mg/l	2 veces al turno	___	___	___	___	___	___	___	___	___	___	___	___
II Etapa V126	Dt	≤ 1 mg/l	2 veces al turno	0.9	0.95	1.35	___	1.65	2.1	1.45	1.5	1.95	1.25	1.25	1.45
Agua Lavado de los filtros	Cloruros	Cl* ± 5 mg/l máx.	AMN	___	___	___	___	C/E	45.97	___	___	___	___	___	___
				___	___	___	___	C/S	39.4	___	___	___	___	___	___
Agua de Alimentar	Cloruros	≤ 50mg/l	1 vez al día	48,59		51,22		36,7		40,71		42,03		45,97	
	Conductividad	Reportar(μS/cm)	1 vez al turno	535		538		682		598		569		477	
	pH	7-8	1 vez al turno	9.08		10.05		9.32		7.56		9.08		8.93	
	AT	Reportar (mq/l)	1 vez al día	2000.85		174		214		241		227.5		227.5	
	Oxígeno (O ₂)	30 ppb	1 vez al turno	___		___		___		___		___		___	
	Dt	≤ 1 mg/l	1 vez al turno	1.15		1.25		1.8		1.65		1.8		1.9	
Agua de Caldera	Conductividad	5000-6000 μS/cm	2 veces al turno	2870	2750	3690	3680	2350	2360	3740	2630	3110	___	2330	3940
	AT	800-900 mg/l	2 veces al turno	816.5	803	763	803	763	656	856.5	859.5	830	___	857	857
	pH	10.5-11.8**	2 veces al turno	11.7	11.72	11.47	11.5	11.58	12.08	11.13	11.57	11.9	___	11.35	11.36
	Dt	< 0.1 (Máx.)	1 vez al turno	0.027		0.025		0.03		0.025		0.035		0.025	
	Cloruros	Reportar (mg/l)	1 vez al turno	151.05		151.05		117.05		161.56		143.13		177.32	
	Fosfato	20-40 mg/l	1 vez al turno	20		>100		35		35		40		40	
	Sulfito	15-30 mg/l	1 vez al turno	20		22		22		22		20		22	
Vapor sobrecalentado	pH	Reportar	1 vez al día	7.27				4.84				5.18			
	Dt	0.0 mg/l	1 vez al día	1.6				1.5				1.5			
Condensado	Dt	0.0 mg/l	1 vez al día	1.7				2.4				1.55			
	AT	40 mg/l	1 vez al día	40.15				26.5				40			
	Cloruros	≤ 10 mg/l	1 vez al día	5.25				3.54				6.56			
	Conductividad	< 100 μS/cm	1 vez al día	130.5				44.7				53.3			
	pH	7.5-9.0	1 vez al día	5.82				5.45				5.54			

Anexo # 6 Tabla # 3.9 Resultados de los análisis de la conductividad realizados al agua de caldera para el mes de febrero.

Días del mes	Conductividad Normada (Mín.)	Conductividad Normada (Máx.)	Conductividad
1	5000	6000	3290
2	5000	6000	5502.5
3	5000	6000	5292.5
4	5000	6000	3180
5	5000	6000	3397.5
6	5000	6000	5693
7	5000	6000	4312.5
8	5000	6000	3625
9	5000	6000	3340
10	5000	6000	3162.5
11	5000	6000	5320
12	5000	6000	4722.5
13	5000	6000	5327.5
14	5000	6000	4992.5
15	5000	6000	4105
16	5000	6000	4687.5
17	5000	6000	3677.5
18	5000	6000	3945
19	5000	6000	4927.5
20	5000	6000	3907.5
21	5000	6000	4557.5
22	5000	6000	5042.5
23	5000	6000	4677.5
24	5000	6000	4499.5
25	5000	6000	3487.5
26	5000	6000	2890
27	5000	6000	2439.5
28	5000	6000	3100
29	5000	6000	
30	5000	6000	
31	5000	6000	

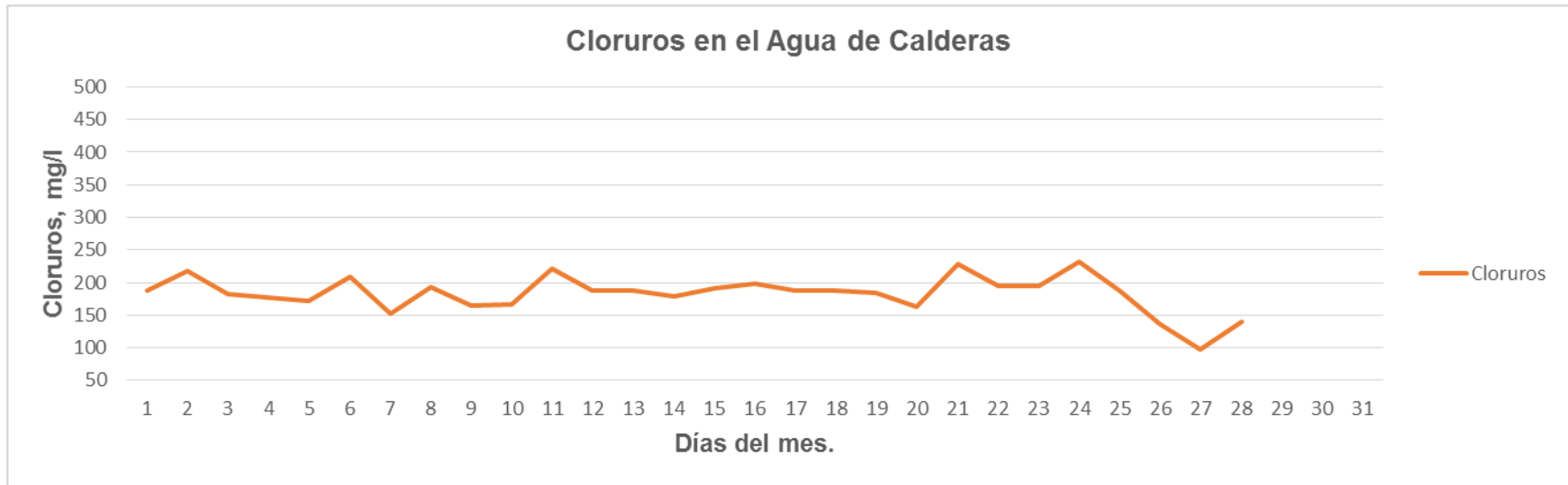
Anexo # 7 Gráfica # 3.9 Comportamiento de la conductividad en el agua de caldera para el mes de febrero.

- El comportamiento del gráfico de conductividad en el agua de caldera demuestra que las extracciones en la misma son altas, es por esto que la mayoría de los valores se encuentran fuera de rango.
- La baja conductividad en el agua de caldera se debe a altos porcentos de purgas, encargados de bajar la alcalinidad del agua, la cual tiene altos valores por no contar con un tratamiento previo de eliminación de la misma.
- Los valores de conductividad representados en la gráfico demuestran que la cantidad de sólidos totales disueltos dentro de la caldera son muy pobres; esto por una parte es un buen resultado porque así se evitan las incrustaciones en el interior de la misma, pero por otra parte esto indica que los porcentos de extracciones son muy altos y estos provoca la pérdida excesiva de agua y con ella una cantidad considerable de energía, los que hace que la eficiencia en la generación de vapor no sea alta.

Anexo # 8 Tabla # 3.10 Resultados de los análisis de los cloruros realizados al agua de caldera para el mes de febrero.

Días del mes	Cloruros reportados
1	187.53
2	218
3	182.7
4	177.48
5	171.34
6	209
7	152.6
8	192.8
9	165
10	165.8
11	221.09
12	187.9
13	188.54
14	178.1
15	192
16	198.37
17	187.28
18	188.54
19	184.8
20	163
21	228.6
22	194.68
23	195.29
24	232
25	187.2
26	136.95
27	97.03
28	140.02
29	
30	
31	

Anexo # 9 Gráfica # 3.10 Comportamiento de los cloruros en el agua de caldera para el mes de febrero.



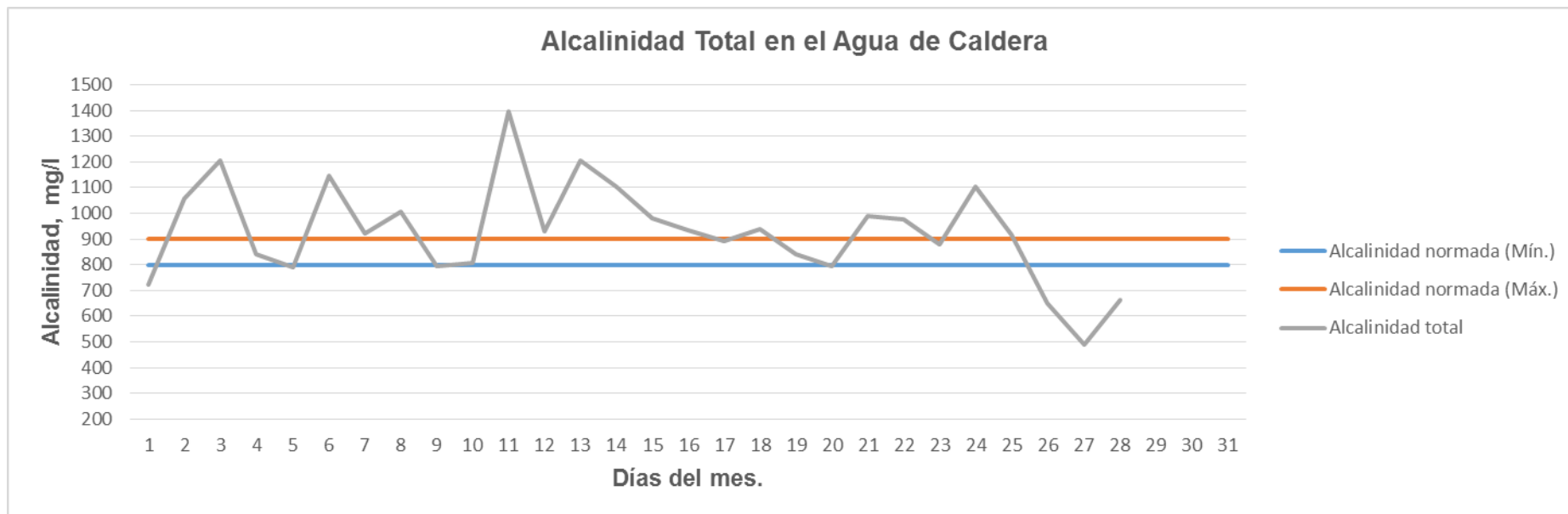
El control de que el ciclo de concentración que se mantiene en una caldera es el requerido, se realiza mediante la medición de los cloruros en el agua de alimentación y agua de la caldera. Los cloruros son utilizados como variable de control, ya que, no participan en el tratamiento de agua y son fáciles de medir.

A continuación se realiza el cálculo de los ciclos de concentración para el mes de febrero:

$$Cc = \frac{Cl \text{ agua caldera}}{Cl \text{ agua alimentación}} = \frac{182.98}{42.73} = 4.28$$

Anexo # 10 Tabla # 3.11 Resultados de los análisis de la alcalinidad total realizados al agua de caldera para el mes de febrero.

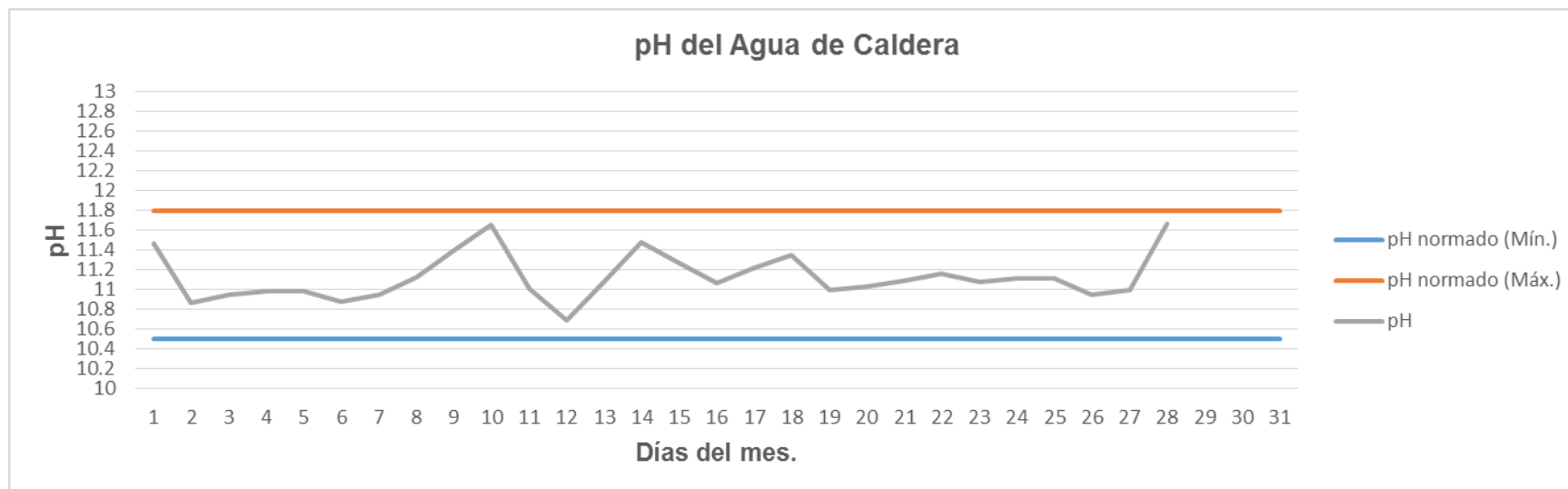
Días del mes	Alcalinidad Total normada (Mín.)	Alcalinidad Total normada (Máx.)	Alcalinidad Total
1	800	900	724
2	800	900	1055.5
3	800	900	1204.5
4	800	900	840
5	800	900	790
6	800	900	1145
7	800	900	920
8	800	900	1006.5
9	800	900	795.5
10	800	900	809
11	800	900	1395
12	800	900	929
13	800	900	1207
14	800	900	1101.5
15	800	900	982.5
16	800	900	935.5
17	800	900	890.5
18	800	900	940
19	800	900	841.5
20	800	900	795.5
21	800	900	990.5
22	800	900	978.5
23	800	900	877
24	800	900	1101.5
25	800	900	917
26	800	900	652
27	800	900	489.5
28	800	900	662.5
29	800	900	
30	800	900	
31	800	900	

Anexo # 11 Gráfica # 3.11 Comportamiento de la alcalinidad total en el agua de caldera para el mes de febrero.

- El control de la alcalinidad en el agua de caldera se realiza específicamente con el control de las purgas continuas, estas se realizan mediante válvulas manuales operadas por un operador, por lo que el proceso trae consigo errores de extracciones; y por eso el valor de la alcalinidad puede variar y oscilar respecto a los valores normados y no presentar estabilidad por días ni respecto a los demás meses.
- Si la demanda de la generación de vapor aumenta se debe aumentar el porcentaje de extracciones en la caldera, si esto no se tiene en cuenta la alcalinidad va a aumentar, o si son muy altas las purgas están van a disminuir. De esta manera se explica el comportamiento de la gráfica.

Anexo # 12 Tabla # 3.12 Resultados de los análisis del pH realizado al agua de caldera para el mes de febrero.

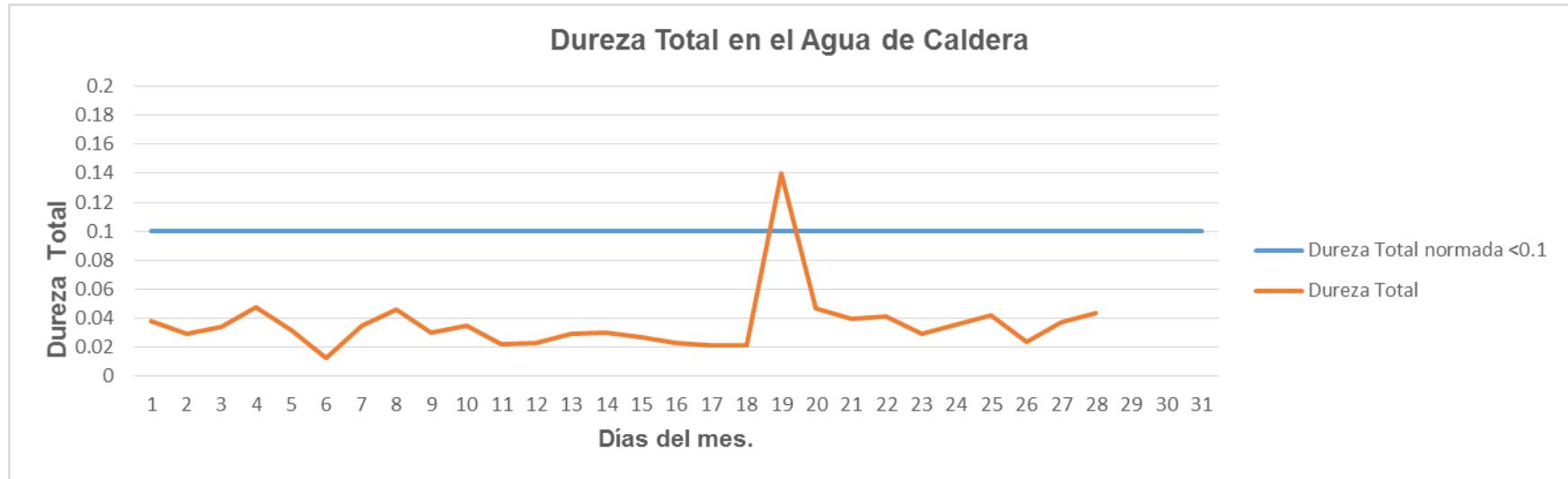
Días del mes	pH normado (Mín.)	pH normado (Máx.)	pH
1	10.5	11.8	11.47
2	10.5	11.8	10.87
3	10.5	11.8	10.95
4	10.5	11.8	10.98
5	10.5	11.8	10.98
6	10.5	11.8	10.88
7	10.5	11.8	10.95
8	10.5	11.8	11.12
9	10.5	11.8	11.4
10	10.5	11.8	11.65
11	10.5	11.8	11.01
12	10.5	11.8	10.69
13	10.5	11.8	11.08
14	10.5	11.8	11.48
15	10.5	11.8	11.27
16	10.5	11.8	11.06
17	10.5	11.8	11.22
18	10.5	11.8	11.35
19	10.5	11.8	11
20	10.5	11.8	11.025
21	10.5	11.8	11.09
22	10.5	11.8	11.16
23	10.5	11.8	11.08
24	10.5	11.8	11.11
25	10.5	11.8	11.11
26	10.5	11.8	10.95
27	10.5	11.8	11
28	10.5	11.8	11.66
29	10.5	11.8	
30	10.5	11.8	
31	10.5	11.8	

Anexo # 13 Gráfica # 3.12 Comportamiento del pH en el agua de caldera para el mes de febrero.

- La gráfica muestra un excelente comportamiento del pH en la caldera, todos los valores tomados en los 28 días del mes de febrero se encuentran entre los valores normados.
- El control del pH depende en gran medida de los valores de alcalinidad total, si esta no es alta y se encuentra controlada el pH funciona de la misma manera. En este caso las extracciones continuas realizadas en las calderas son las que permiten un buen control de la alcalinidad y permitiendo de esta manera que los valores de pH se encuentren en los rangos permisibles.

Anexo # 14 Tabla # 3.13 Resultados de los análisis de la dureza total realizados al agua de caldera para el mes de febrero.

Días del mes	Dureza Total normada < 0.1	Dureza Total
1	0.1	0.038
2	0.1	0.029
3	0.1	0.034
4	0.1	0.048
5	0.1	0.032
6	0.1	0.013
7	0.1	0.035
8	0.1	0.046
9	0.1	0.03
10	0.1	0.035
11	0.1	0.022
12	0.1	0.023
13	0.1	0.029
14	0.1	0.03
15	0.1	0.027
16	0.1	0.023
17	0.1	0.021
18	0.1	0.021
19	0.1	0.14
20	0.1	0.047
21	0.1	0.04
22	0.1	0.041
23	0.1	0.029
24	0.1	0.036
25	0.1	0.042
26	0.1	0.024
27	0.1	0.037
28	0.1	0.044
29	0.1	
30	0.1	
31	0.1	

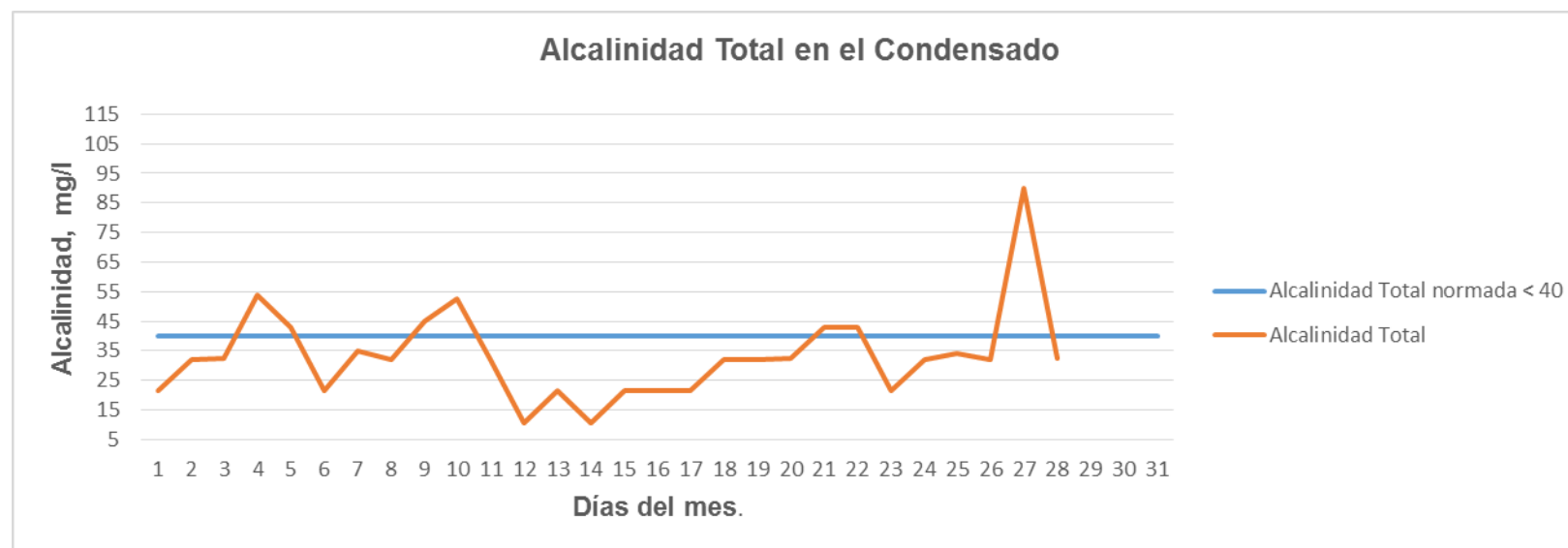
Anexo # 15 Gráfica # 3.13 Comportamiento de la dureza total en el agua de caldera para el mes de febrero.

- Los valores de dureza total en la caldera se encuentran por debajo de 0.1 como lo exige la norma, aunque se puede observar un valor fuera de rango de 0.14 para el día 19 de febrero. Como se corresponde a un solo valor se puede concluir que pudo haber sido error de muestro en el laboratorio, porque los demás días la gráfica muestra un buen comportamiento.
- Se puede decir que el control se debe a que el agua entra a la caldera con bajos porcentos de dureza ya que la misma es eliminada con el ciclo sodio en la planta de tratamiento de agua, se puede añadir también las adiciones de fosfatos y altas extracciones en la caldera.
- El comportamiento de la dureza total demuestra que las incrustaciones dentro de la caldera son muy pobre.

Anexo # 16 Tabla # 3.14 Resultados de los análisis de la alcalinidad total realizados al condensado para el mes de febrero.

Días del mes	Valor normado < 40	Alcalinidad total
1	40	21.5
2	40	32
3	40	32.5
4	40	54
5	40	43
6	40	21.5
7	40	35
8	40	32
9	40	45
10	40	52.5
11	40	32
12	40	10.5
13	40	21.5
14	40	10.5
15	40	21.5
16	40	21.5
17	40	21.5
18	40	32
19	40	32
20	40	32.5
21	40	43
22	40	43
23	40	21.5
24	40	32
25	40	34
26	40	32
27	40	90
28	40	32.5
29	40	
30	40	
31	40	

Anexo # 17 Gráfica # 3.14 Comportamiento de la alcalinidad total en el condensado para el mes de febrero.

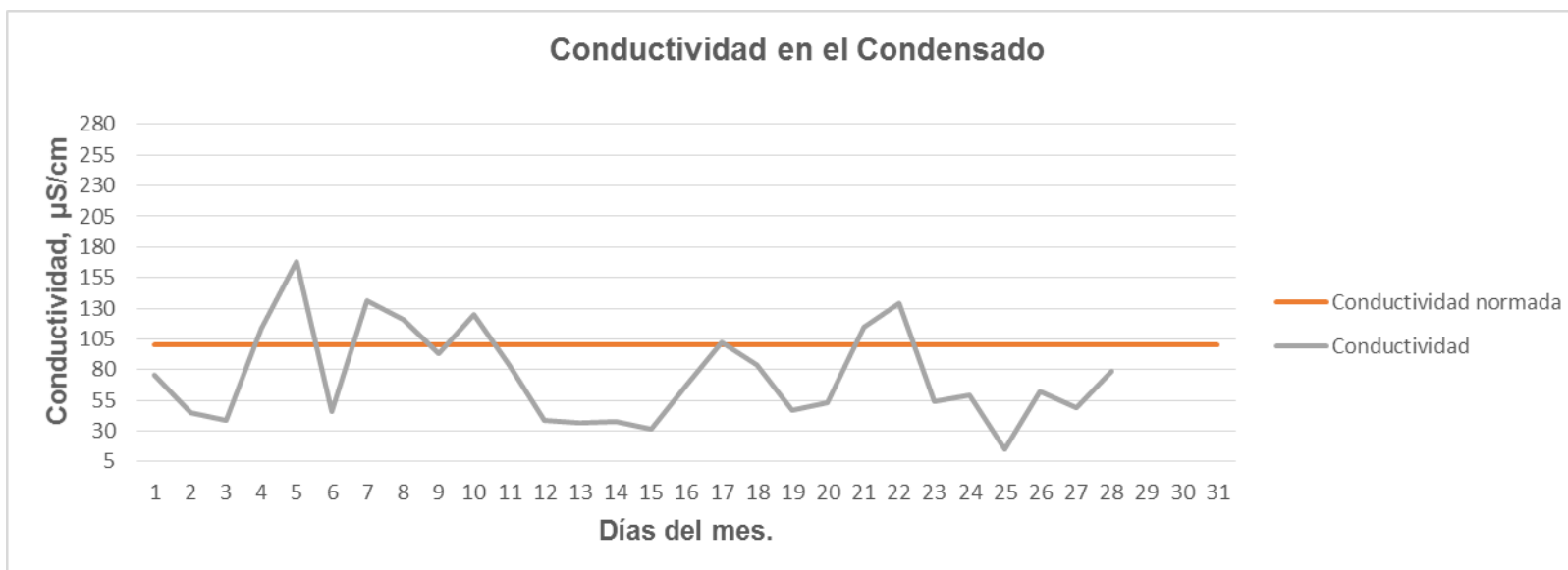


- El control de la alcalinidad total en el condensado se encuentra entre los valores normados.
- Los puntos que están fuera de régimen no significan que haya una anomalía en el proceso porque no ocurre en días consecutivos sino que lo hace de forma aleatoria, estos valores pueden deberse a fallos técnicos o errores presenciales de las personas que operan con las muestras.

Anexo # 18 Tabla # 3.15 Resultados de los análisis de la conductividad realizados al condensado para el mes de febrero.

Días del mes	Valor normado ≤ 100	Conductividad
1	100	75.6
2	100	45.1
3	100	38.6
4	100	113.4
5	100	167.5
6	100	45.7
7	100	136.4
8	100	121.1
9	100	93.5
10	100	125
11	100	84.3
12	100	38.2
13	100	36.5
14	100	37.5
15	100	31.5
16	100	67
17	100	102.1
18	100	83.3
19	100	46.5
20	100	53.4
21	100	114.4
22	100	134.6
23	100	54.1
24	100	58.7
25	100	15.34
26	100	62.3
27	100	48.8
28	100	78.3
29	100	
30	100	
31	100	

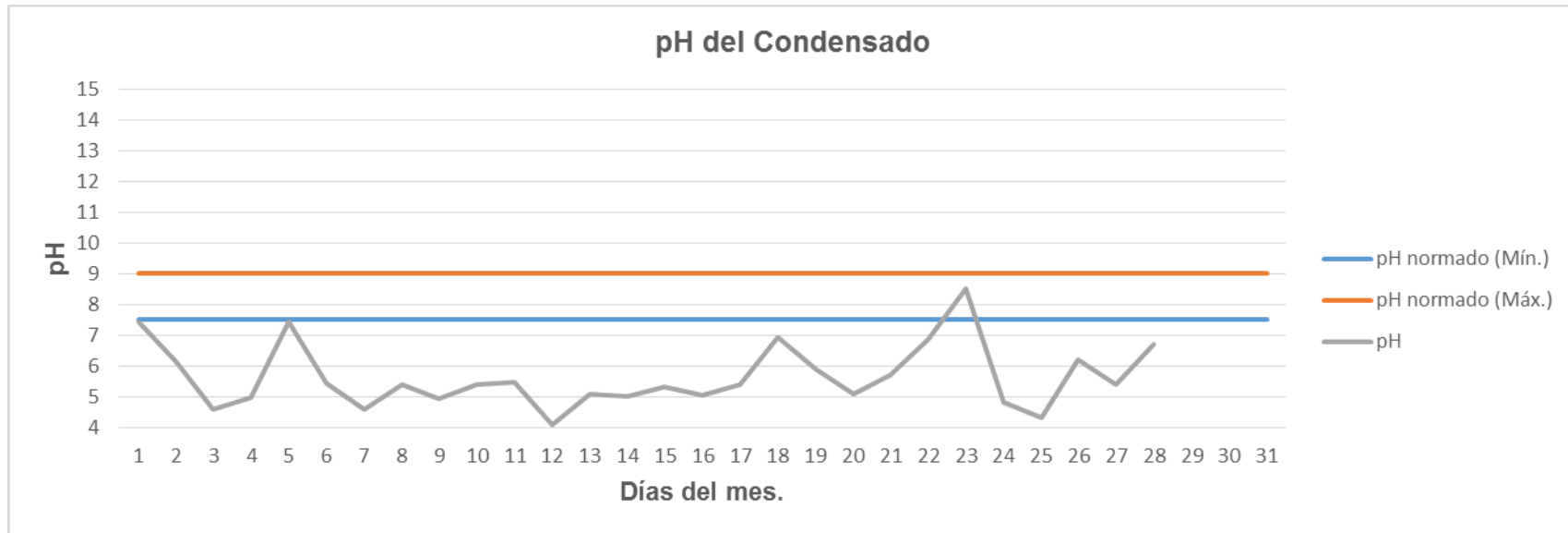
Anexo # 19 Gráfica # 3.15 Comportamiento de la conductividad en el condensado para el mes de febrero.



- La grafica presenta un buen comportamiento de la conductividad en el condensado, por lo general los valores se encuentran dentro del rango estimado.
- Se pueden observar oscilaciones que pueden estar asociadas a errores humanos, cometidos en el laboratorio en el momento de realizar las pruebas a las muestras.

Anexo # 20 Tabla # 3.16 Resultados de los análisis del pH realizado al condensado para el mes de febrero.

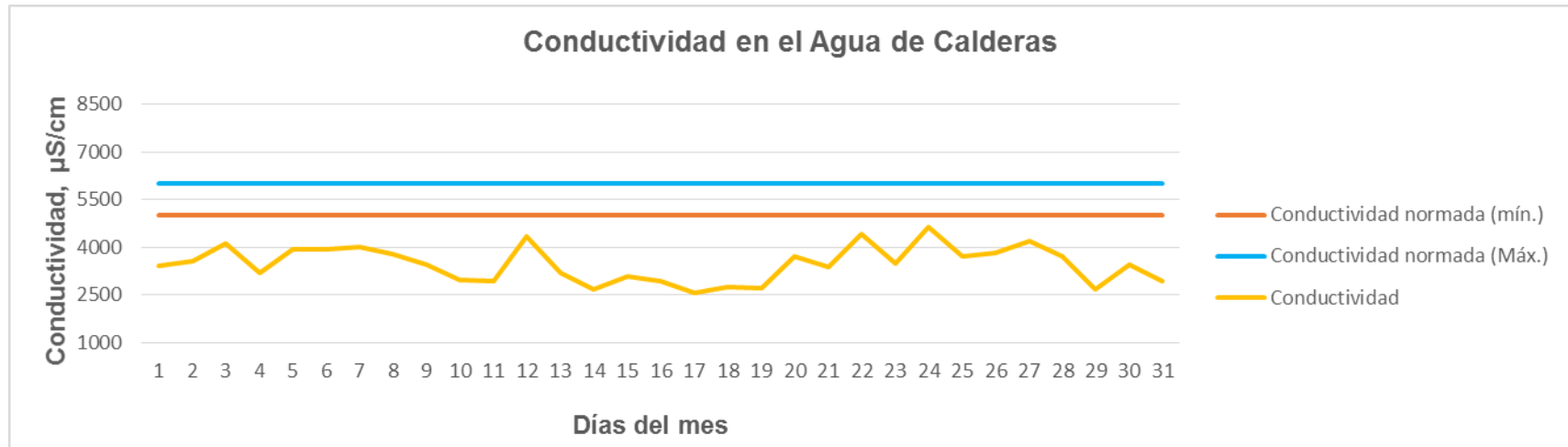
Días del mes	pH normado (Mín.)	pH normado (Máx.)	pH
1	7.5	9	7.43
2	7.5	9	6.11
3	7.5	9	4.58
4	7.5	9	4.97
5	7.5	9	7.44
6	7.5	9	5.43
7	7.5	9	4.59
8	7.5	9	5.39
9	7.5	9	4.94
10	7.5	9	5.4
11	7.5	9	5.47
12	7.5	9	4.07
13	7.5	9	5.08
14	7.5	9	5
15	7.5	9	5.32
16	7.5	9	5.03
17	7.5	9	5.39
18	7.5	9	6.93
19	7.5	9	5.9
20	7.5	9	5.08
21	7.5	9	5.69
22	7.5	9	6.87
23	7.5	9	8.53
24	7.5	9	4.83
25	7.5	9	4.3
26	7.5	9	6.2
27	7.5	9	5.4
28	7.5	9	6.72
29	7.5	9	
30	7.5	9	
31	7.5	9	

Anexo # 21 Gráfica # 3.16 Comportamiento del pH en el condensado para el mes de febrero.

- El pH en el condensado indica bajos valores, por lo que son pH ácidos, estos están dados por la presencia de ácidos carbónicos, provenientes de carbonatos y bicarbonatos en el agua de alimentación a la caldera.
- Los carbonatos y bicarbonatos son conocidos como dureza carbonata y viene dada en la alcalinidad del agua, como esta no es tratada por filtros de intercambio de iones ciclo hidrógeno, ni el agua es pasada por el descarbonador, llega a la caldera con altos porcentos de la misma.

Anexo # 22 Tabla # 3.17 Resultados de los análisis de la conductividad realizados al agua de caldera para el mes marzo.

Días del mes	Conductividad Normada (Mín.)	Conductividad Normada (Máx.)	Conductividad
1	5000	6000	3400
2	5000	6000	3580.5
3	5000	6000	4132.5
4	5000	6000	3182.5
5	5000	6000	3920
6	5000	6000	3930
7	5000	6000	4015
8	5000	6000	3777.75
9	5000	6000	3445
10	5000	6000	2982.5
11	5000	6000	2918.5
12	5000	6000	4357.5
13	5000	6000	3200
14	5000	6000	2675
15	5000	6000	3075
16	5000	6000	2940
17	5000	6000	2572.5
18	5000	6000	2747.5
19	5000	6000	2712.5
20	5000	6000	3696
21	5000	6000	3363.5
22	5000	6000	4415
23	5000	6000	3487.5
24	5000	6000	4650
25	5000	6000	3710
26	5000	6000	3835
27	5000	6000	4200
28	5000	6000	3722.5
29	5000	6000	2687
30	5000	6000	3442
31	5000	6000	2935

Anexo # 23 Gráfica # 3.17 Comportamiento de la conductividad en el agua de caldera para el mes de marzo.

- El comportamiento del gráfico de conductividad en el agua de caldera demuestra que las extracciones en la misma son altas, es por esto que la mayoría de los valores se encuentran fuera de rango.
- La baja conductividad en el agua de caldera se debe a altos porcentos de purgas, encargados de bajar la alcalinidad del agua, la cual tiene altos valores por no contar con un tratamiento previo de eliminación de la misma.
- Los valores de conductividad representados en la gráfico demuestran que la cantidad de sólidos totales disueltos dentro de la caldera son muy pobres; esto por una parte es un buen resultado porque así se evitan las incrustaciones en el interior de la misma, pero por otra parte esto indica que los porcentos de extracciones son muy altos y estos provoca la pérdida excesiva de agua y con ella una cantidad considerable de energía, los que hace que la eficiencia en la generación de vapor no sea alta.

Anexo # 24 Tabla 3.18 Resultados de los análisis de los cloruros realizados al agua de caldera para el mes de marzo.

Días del mes	Cloruros reportados
1	158.4
2	152.9
3	188
4	182
5	174
6	178.8
7	163.7
8	172.8
9	174.2
10	157.43
11	162.68
12	141.44
13	143.2
14	143.26
15	112.7
16	129.65
17	135.3
18	129.5
19	145.69
20	159
21	186.97
22	218.53
23	165.11
24	177.8
25	146.2
26	200.32
27	194.46
28	182.1
29	133.51
30	133.54
31	118.98

Anexo # 25 Gráfica 3.18 Comportamiento de los cloruros en el agua de caldera para el mes de marzo.



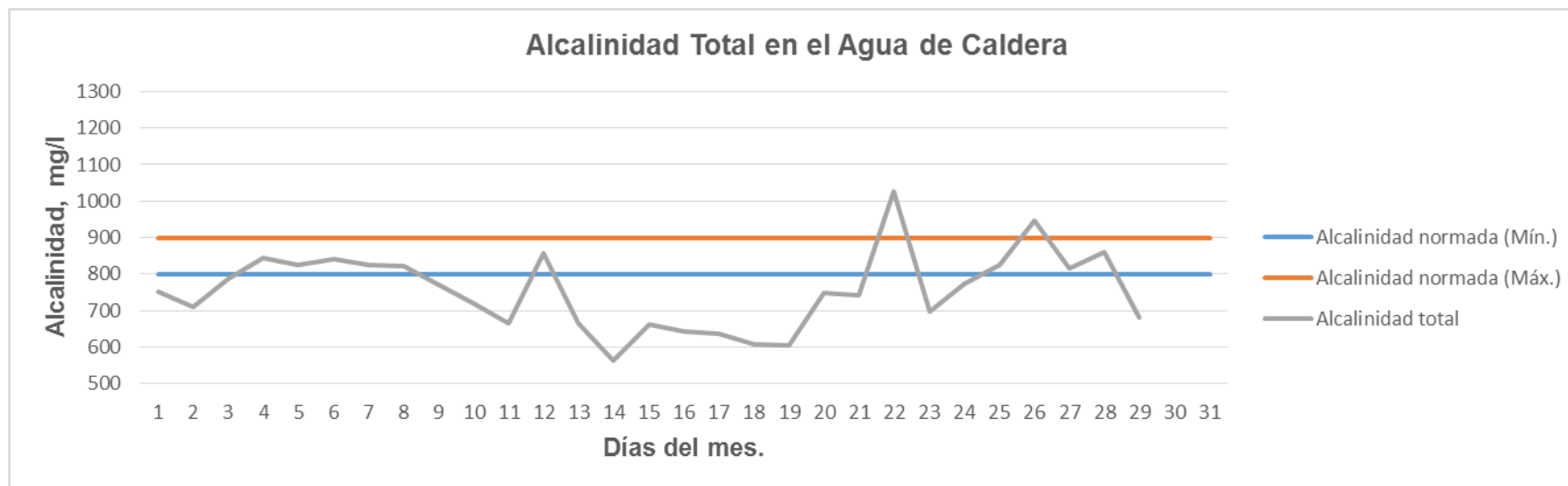
El control de que el ciclo de concentración que se mantiene en una caldera es el requerido, se realiza mediante la medición de los cloruros en el agua de alimentación y agua de la caldera. Los cloruros son utilizados como variable de control, ya que, no participan en el tratamiento de agua y son fáciles de medir.

A continuación se realiza el cálculo de los ciclos de concentración para el mes de marzo:

$$Cc = \frac{Cl \text{ agua caldera}}{Cl \text{ agua alimentación}} = \frac{160.07}{39.87} = 4$$

Anexo # 26 Tabla # 3.19 Resultados de los análisis de la alcalinidad total realizados al agua de caldera para el mes de marzo.

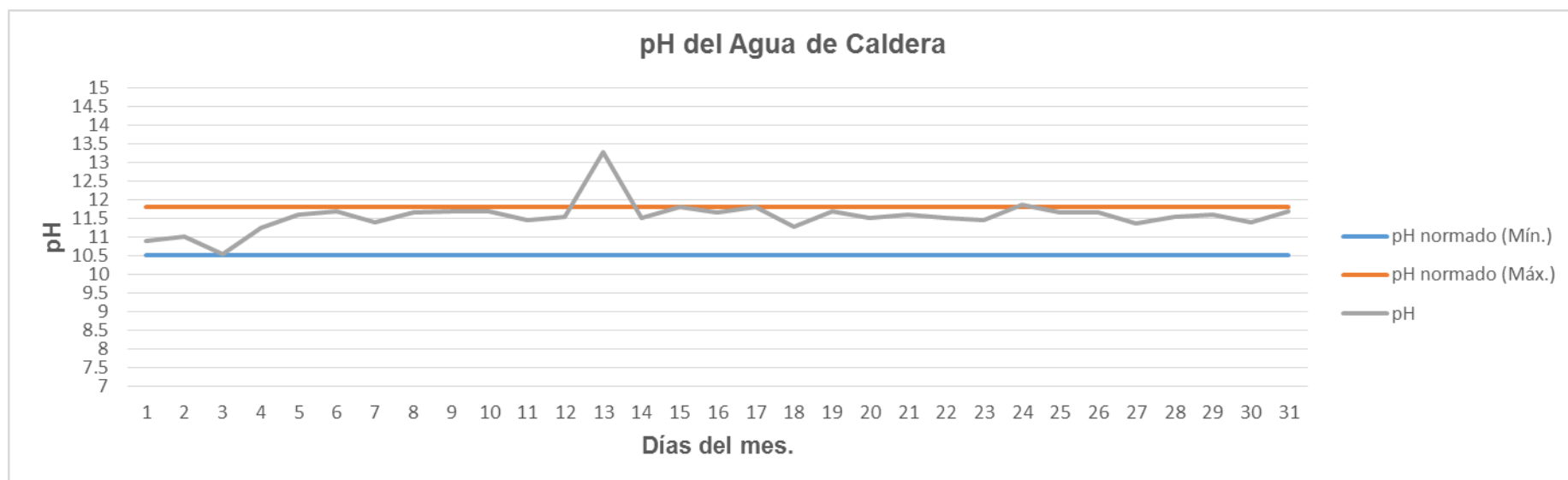
Días del mes	Alcalinidad Total normada (Mín.)	Alcalinidad Total normada (Máx.)	Alcalinidad Total
1	800	900	750
2	800	900	711.5
3	800	900	787.5
4	800	900	845
5	800	900	825
6	800	900	840
7	800	900	825.5
8	800	900	823
9	800	900	770.5
10	800	900	718.5
11	800	900	664.5
12	800	900	857.5
13	800	900	664.5
14	800	900	562.5
15	800	900	662
16	800	900	644
17	800	900	635.5
18	800	900	608
19	800	900	603
20	800	900	748
21	800	900	743
22	800	900	1028
23	800	900	698
24	800	900	774.5
25	800	900	825.5
26	800	900	947
27	800	900	815.5
28	800	900	860
29	800	900	682.5
30	800	900	598
31	800	900	673.5

Anexo # 27 Gráfica 3.19 Comportamiento de la alcalinidad total en el agua de caldera para el mes de marzo.

- El control de la alcalinidad en el agua de caldera se realiza específicamente con el control de las purgas continuas, estas se realizan mediante válvulas manuales operadas por un operador, por lo que el proceso trae consigo errores de extracciones; y por eso el valor de la alcalinidad puede variar y oscilar respecto a los valores normados y no presentar estabilidad por días ni respecto a los demás meses.
- Si la demanda de la generación de vapor aumenta se debe aumentar el porcentaje de extracciones en la caldera, si esto no se tiene en cuenta la alcalinidad va a aumentar, o si son muy altas las purgas están van a disminuir. De esta manera se explica el comportamiento de la gráfica.

Anexo # 28 Tabla # 3.20 Resultados de los análisis del pH realizado al agua de caldera para el mes de marzo.

Días del mes	pH normado (Mín.)	pH normado (Máx.)	pH
1	10.5	11.8	10.88
2	10.5	11.8	11
3	10.5	11.8	10.55
4	10.5	11.8	11.24
5	10.5	11.8	11.59
6	10.5	11.8	11.68
7	10.5	11.8	11.4
8	10.5	11.8	11.65
9	10.5	11.8	11.7
10	10.5	11.8	11.68
11	10.5	11.8	11.46
12	10.5	11.8	11.55
13	10.5	11.8	13.29
14	10.5	11.8	11.52
15	10.5	11.8	11.81
16	10.5	11.8	11.67
17	10.5	11.8	11.8
18	10.5	11.8	11.27
19	10.5	11.8	11.68
20	10.5	11.8	11.5
21	10.5	11.8	11.61
22	10.5	11.8	11.5
23	10.5	11.8	11.46
24	10.5	11.8	11.85
25	10.5	11.8	11.66
26	10.5	11.8	11.67
27	10.5	11.8	11.35
28	10.5	11.8	11.55
29	10.5	11.8	11.59
30	10.5	11.8	11.4
31	10.5	11.8	11.69

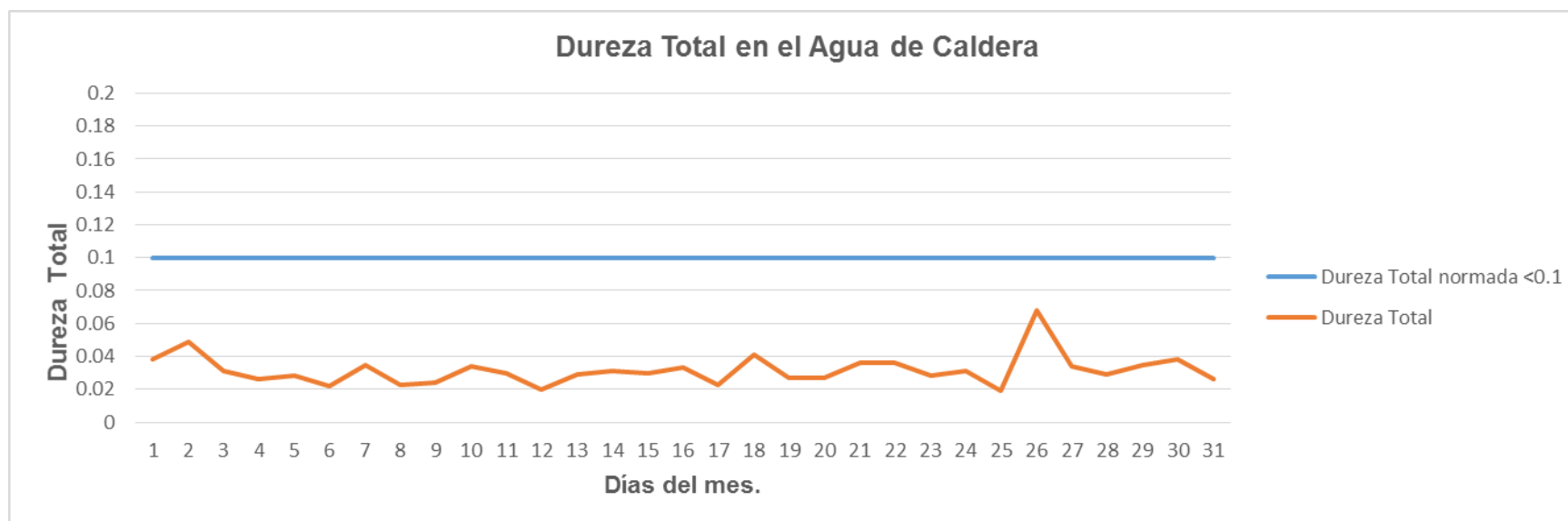
Anexo # 29 Gráficas # 3.20 Comportamiento del pH en el agua de caldera para el mes de marzo.

- La gráfica muestra un excelente comportamiento del pH en la caldera, todos los valores tomados se encuentran en los rangos normados.
- El control del pH depende en gran medida de los valores de alcalinidad total, si esta no es alta y se encuentra controlada el pH funciona de la misma manera. En este caso las extracciones continuas realizadas en las calderas son las que permiten un buen control de la alcalinidad y permitiendo de esta manera que los valores de pH se encuentren en los rangos permisibles.

Anexo # 30 Tabla # 3.21 Resultados de los análisis de la dureza total realizados al agua de caldera para el mes de marzo.

Días del mes	Dureza Total normada < 0.1	Dureza Total
1	0.1	0.038
2	0.1	0.049
3	0.1	0.031
4	0.1	0.026
5	0.1	0.028
6	0.1	0.022
7	0.1	0.035
8	0.1	0.023
9	0.1	0.024
10	0.1	0.034
11	0.1	0.03
12	0.1	0.02
13	0.1	0.029
14	0.1	0.031
15	0.1	0.03
16	0.1	0.033
17	0.1	0.023
18	0.1	0.041
19	0.1	0.027
20	0.1	0.027
21	0.1	0.036
22	0.1	0.036
23	0.1	0.028
24	0.1	0.031
25	0.1	0.019
26	0.1	0.068
27	0.1	0.034
28	0.1	0.029
29	0.1	0.035
30	0.1	0.038
31	0.1	0.026

Anexo # 31 Gráfica # 3.21 Comportamiento de la dureza total en el agua de caldera para el mes de marzo.

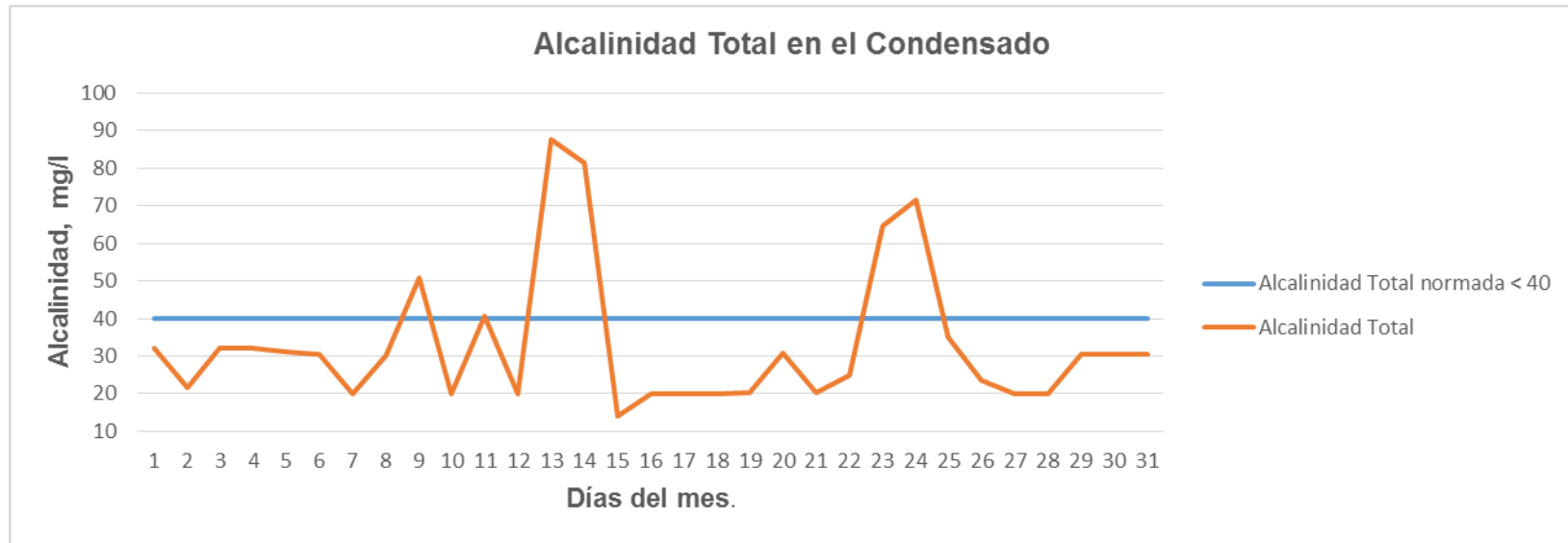


- Los valores de dureza total en la caldera se encuentran por debajo de 0.1 como lo exige la norma.
- Se puede decir que el control se debe a que el agua entra a la caldera con bajos porcentos de dureza ya que la misma es eliminada con el ciclo sodio en la planta de tratamiento de agua, se puede añadir también las adiciones de fosfatos y altas extracciones en la caldera.
- El comportamiento de la dureza total demuestra que las incrustaciones dentro de la caldera son muy pobres.

Anexo # 32 Tabla # 3.22 Resultados de los análisis de la alcalinidad total realizados al condensado para el mes de marzo.

Días del mes.	Valor normado < 40	Alcalinidad total
1	40	32
2	40	21.5
3	40	32
4	40	32
5	40	31
6	40	30.5
7	40	20
8	40	30
9	40	51
10	40	20
11	40	40.5
12	40	20
13	40	87.5
14	40	81.5
15	40	14
16	40	20
17	40	20
18	40	20
19	40	20.45
20	40	30.65
21	40	20.45
22	40	25
23	40	64.5
24	40	71.5
25	40	35
26	40	23.5
27	40	20
28	40	20
29	40	30.5
30	40	30.5
31	40	30.5

Anexo # 33 Gráfica # 3.22 Comportamiento de la alcalinidad total en el condensado para el mes de marzo.

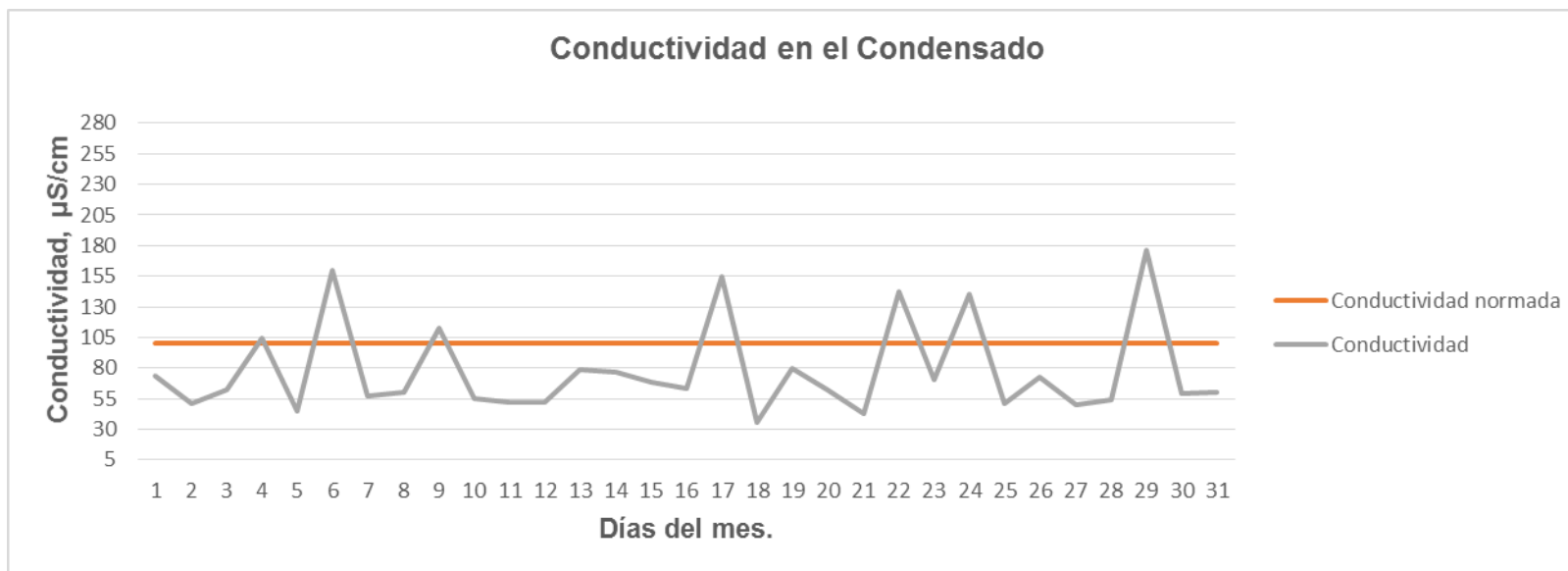


- El control de la alcalinidad total en el condensado se encuentra entre los valores normados.
- Los puntos que están fuera de régimen no significan que haya una anomalía en el proceso porque no ocurre en días consecutivos sino que lo hace de forma aleatoria, estos valores pueden deberse a fallos técnicos o errores presenciales de las personas que operan con las muestras.

Anexo # 34 Tabla # 3.23 Resultados de los análisis de la conductividad realizados al condensado para el mes de marzo.

Días del mes	Valor normado ≤ 100	Conductividad
1	100	73.8
2	100	50.9
3	100	62.5
4	100	103.9
5	100	44.3
6	100	159.7
7	100	56.8
8	100	59.8
9	100	113
10	100	54.9
11	100	52.2
12	100	52.3
13	100	78.6
14	100	76.6
15	100	68.7
16	100	63
17	100	154.3
18	100	35.1
19	100	79.7
20	100	62.2
21	100	42.6
22	100	142.8
23	100	70.5
24	100	140.5
25	100	50.6
26	100	72.8
27	100	50.4
28	100	54.4
29	100	176.7
30	100	59
31	100	60

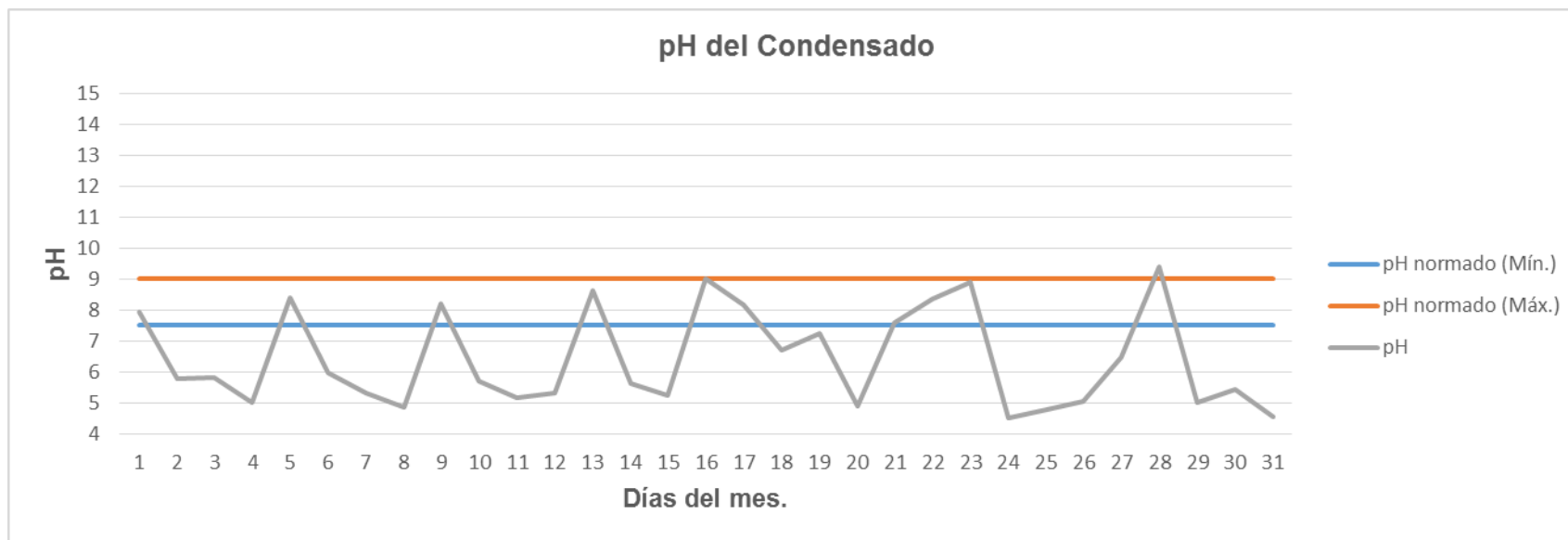
Anexo # 35 Gráfica # 3.23 Comportamiento de la conductividad en el condensado para el mes de marzo.



- La grafica presenta un buen comportamiento de la conductividad en el condensado, por lo general los valores se encuentran dentro del rango estimado.
- Se pueden observar oscilaciones que pueden estar asociadas a errores humanos, cometidos en el laboratorio en el momento de realizar las pruebas a las muestras.

Anexo # 36 Tabla # 3.24 Resultados de los análisis del pH realizado al condensado para el mes de marzo.

Días del mes.	pH normado (Mín.)	pH normado (Máx.)	pH
1	7.5	9	7.93
2	7.5	9	5.79
3	7.5	9	5.8
4	7.5	9	5.02
5	7.5	9	8.39
6	7.5	9	5.97
7	7.5	9	5.32
8	7.5	9	4.87
9	7.5	9	8.2
10	7.5	9	5.71
11	7.5	9	5.15
12	7.5	9	5.3
13	7.5	9	8.63
14	7.5	9	5.62
15	7.5	9	5.23
16	7.5	9	9.01
17	7.5	9	8.15
18	7.5	9	6.7
19	7.5	9	7.24
20	7.5	9	4.9
21	7.5	9	7.6
22	7.5	9	8.34
23	7.5	9	8.9
24	7.5	9	4.5
25	7.5	9	4.79
26	7.5	9	5.04
27	7.5	9	6.46
28	7.5	9	9.41
29	7.5	9	5.01
30	7.5	9	5.45
31	7.5	9	4.56

Anexo # 37 Gráfico # 3.24 Comportamiento del pH en el condensado para el mes de marzo.

- El pH en el condensado indica bajos valores, por lo que son pH ácidos, estos están dados por la presencia de ácidos carbónicos, provenientes de carbonatos y bicarbonatos en el agua de alimentación a la caldera.
- Los carbonatos y bicarbonatos son conocidos como dureza carbonata y viene dada en la alcalinidad del agua, como esta no es tratada por filtros de intercambio de iones ciclo hidrógeno, ni el agua es pasada por el descarbonatador, llega a la caldera con altos porcentos de la misma.

Anexo # 38 Análisis de agua cruda procedente de la presa del río Saramaguacán en Nuevitas, Camagüey.

Sustancia	Expresado como	Concentración (ppm)
Conductividad eléctrica	-	1178 μ nhos
pH	-	7.5
Sílice	-	47.5
Alcalinidad total	CaCO ₃	160.65
Dureza total	CaCO ₃	177
Dureza carbonatada	CaCO ₃	160.65
Dureza no carbonatada	CaCO ₃	16.35
Hierro	Fe	0.13
Calcio	Ca ⁺⁺	1.50
Cloruros	Cl ⁻	55.73
Sulfatos	SO ₄ ⁼	0.96
Bicarbonatos	CaCO ₃	160.65
Sólidos totales disueltos	-	296

Anexo # 39 Informe de la inspección realizada en el economizador de la caldera.



PETRÓLEOS
CUBA VENEZUELA S.A.

MINISTERIO INDUSTRIA BASICA
REFINERIA CAMILO CIENFUEGOS
DPTO. DE SERVICIOS TECNICOS.

RRF-DT-IT-14-12-01

RECOMENDACIÓN Nro.: 15Código del equipo: F- 52- 116/II Clase: Prioridad: Título o sección: T - 52 Fecha y hora: 16 - 01 - 14Correctivo MP2 Número de Solicitud del trabajo.: Insp. Téc. Rutina Insp. Téc. Planificada Insp. Téc. Mtto Cambio Tecnológico

I. Defecto:

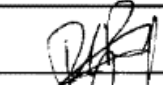
- Los tubos de la primera fila del primer cuerpo (**de abajo hacia arriba**) del Eco. están punchados por la corrosión intensa a la que han estado sometidos.
- Existe agujero en el cenicero.


II. Recomendación:

- Desmontar el aislamiento térmico de la parte inferior del colector de entrada y del colector de salida.
- Cortar el par de tubos a la entrada del primer serpentín (**de abajo hacia arriba**). **Dejar y doblar mocheta en el colector para poder taponear. Colector de entrada a la izquierda.**
- Cortar el par de tubos a la salida del primer serpentín (**de abajo hacia arriba**). **Dejar y doblar mocheta en el colector para poder taponear. Colector de salida a la izquierda.**
- Parchar con una platina de 100 x 100 x 5; por dentro, en el cenicero el agujero existente.
- Realizar prueba de hermeticidad.
- Restablecer aislamiento térmico en ambos colectores.

Materiales: Cantidad:
Electrodo de $\varnothing = 2,5$ mm E- 6010 por AWS ----- 0.5 kg

III. Conclusión del trabajo:

Emitida por: Reinaldo Alonso Ruiz Firma: 
Insp. Técnico.

Aprobada por: Humberto León Lezcano Firma: 

Anexo # 40 Inspección realizada al economizador de la caldera.



MINISTERIO INDUSTRIA BASICA
REFINERIA CAMILO CIENFUEGOS
DPTO. DE SERVICIOS TECNICOS.

RRF-DT-IT-14-12-01

RECOMENDACIÓN Nro.: 101Código del equipo: F- 52 – 101 / 2 Clase: Prioridad: Título o sección: T - 52 Fecha y hora: 26 – 03 - 14Correctivo MP2 Número de Solicitud del trabajo.: Insp. Téc. Rutina Insp. Téc. Planificada Insp. Téc. Mtto Cambio Tecnológico

I. Defecto:

- Se han identificado un tubo con un poro en la parte inferior del mismo; en la sección de convección.
Contando de izquierda a derecha: En la fila 14, el tubo 1.

II. Recomendación:

- Limpiar la superficie del tubo con disco.
- Eliminar el defecto con soldadura, previamente identificado con defectoscopia a color.
- Limpiar nuevamente sobre el metal aportado.
- Colocar una teja sobre el lugar del defecto y soldarla al tubo con el electrodo indicado.

Materiales: Cantidad:
Electrodo de $\varnothing = 2,5$ mm E-6010 por AWS ----- 0.5 kg

Emitida por: Reinaldo Alonso Ruiz
Insp. Técnico.Firma: Aprobada por: Humberto León Lezcano
J' Grupo de Inspección.Firma: 

Anexo # 42 Modelo REP-14-IP/I 21-04 para la calibración del domo.

INSPECCIÓN A CALDERAS TIT-52.						
EQUIPO:		FECHA:		FIRMA:		
DOMO SUPERIOR			INSPECTOR:			
CALIBRACION			A	B	C	D
1		1				
2		2				
3		3				
4		4				
5		5				
6		6				
7		7				
8		8				
9		9				
10		10				
11		11				
12		12				
13		13				
14		14				
15		15				
16		16				
17		17				
18	BAFLES O MANPARAS:					
19	BARRENOS EN DOMO:					
20	INCRUSTACIONES DE SALES:					
NIVELES:		TUBULADURAS Y CONEX.:				
SEPARADORES:						
VALV. DE SEG.:						
DOMO INFERIOR						
CALIBRACION			A	B	C	D
1		1				
2		2				
3		3				
4		4				
5		5				
6		6				
7		7				
8		8				
9		9				
10		18				
11		19				
12		20				
13	INCRUSTACIONES DE SALES:					
14	BARRENOS EN DOMO:					
15	TUBULADURAS Y CONEX.					
16	BAFLES Y MAMPARAS:					
17						
18						
19						
20						
NOTAS:						