

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE QUÍMICA INDUSTRIAL**



**“TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUA PARA CALDERAS  
ACUOTUBULARES EN LA EMPRESA AZUCARERA SAN  
BUENAVENTURA-EASBA”**

**Trabajo dirigido para obtener el Título de Licenciatura en Química Industrial**

**POR: EFRAÍN MAMANI TICONA**

**TUTOR PROFESIONAL: ING. GERMAN FERNANDO QUINTEROS CHÁVEZ**

**TUTOR DOCENTE: ING. CESAR RUIZ ORTIZ**

**LA PAZ-BOLIVIA**

**Octubre, 2022**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo para obtener mi título como Licenciado en Química Industrial, se lo dedico primero a Papa Dios por ser mi guía y mi protección en todo momento, segundo a mi querida familia, mis padres y mis queridas hermanas Cinthia, Aleyda y Helen que siempre han estado en todo momento apoyándome y dándome alientos para culminar esta etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de experiencias y sobre todo felicidad.

También me complace agradecer a mi querida familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida, porque me demuestra lo hermoso que es la vida y lo justa que puede llegar a ser.

Tengo un agradecimiento muy especial para mis compañeros y amigos con los cuales he compartido buenos y malos momentos. Gracias por aguantarme y escucharme.

Debo un especial reconocimiento a la Empresa Azucarera San Buenaventura, desde el Gerente General hasta los operadores del área de Caldera de la misma por abrirme las puertas de la empresa, para que pueda consolidar mis conocimientos profesionales.

Gracias a nuestra querida Universidad Mayor de San Andrés por acogernos en su casa superior de estudios, la Facultad de Tecnología y la Carrera de Química Industrial, al ofrecerme un plantel docente de lujo.

Por último, quiero agradecer a mi tutor Ing. German Quintetos Chávez y Lic. Paula Paxi Mamani por el apoyo académico que me brindaron y todas aquellas personas que llegaron a mi vida y me dieron lecciones muy importantes que me ayudaron a poder seguir adelante, donde le di sentido a esta frase que dice: “las casualidades no existen, todo pasa por algo”.

Muchas Gracias.

## **RESUMEN**

El presente trabajo dirigido estudia el proceso de producción de agua desmineralizada y la dosificación de productos químicos para la generación de vapor en la Empresa Azucarera San Buenaventura – EASBA, se considera el desarrollo de un plan de procedimientos para el mantenimiento integral del caldero de vapor, que determine estrategias operativas, con aspectos reales del tratamiento del caldero de vapor.

Se ha tomado como base fundamental, la identificación de los puntos claves como ser el adecuado procedimiento para la producción de agua desmineralizada evitando la contaminación, para generar un agua desmineralizada con los parámetros de calidad requeridos, otro de los puntos claves es el adecuado procedimiento para la dosificación de los productos químicos para evitar el daño interno de las tuberías de la caldera. Además, este proyecto se apoya en una norma internacional (normas ASME) donde todos los parámetros de calidad de agua que se produce en la empresa es comparada con la norma ASME, garantizando que todo el estudio realizado están sustentadas con resultados experimentales y teóricos.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	ANTECEDENTES .....	1
1.2.	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	2
1.3.	VISIÓN Y MISIÓN DE LA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA EASBA .....	3
1.3.1.	VISIÓN .....	3
1.3.2.	MISIÓN .....	3
1.4.	NUESTROS VALORES.....	3
1.5.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.6.	JUSTIFICACIÓN .....	4
1.7.	OBJETIVOS .....	5
1.7.1.	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.7.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.8.	ALCANCE.....	5
2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	ORIGEN DE LAS CALDERAS.....	6
2.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS .....	7
2.2.1.	POR CIRCULACIÓN DEL AGUA Y DE LOS GASES EN LA ZONA DE LOS TUBOS .....	7
2.2.2.	POR LA DISPOSICIÓN DE LOS TUBOS.....	8
2.3.	GENERALIDADES DEL AGUA .....	8
2.3.1.	CICLO HIDROLÓGICO Y LAS AGUAS NATURALES .....	8
2.3.2.	CLASIFICACIÓN DE IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL AGUA .....	9
2.3.3.	EFEECTO DE LAS IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL AGUA .....	9
2.4.	PROBLEMAS GENERADOS POR UN MAL TRATAMIENTO DE AGUA PARA USO EN LAS CALDERAS.....	10
2.4.1.	CORROSIÓN PRODUCIDA POR BAJOS pH .....	10
2.4.2.	CORROSIÓN PRODUCIDA POR OXÍGENO DISUELTO.....	12
2.4.3.	FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES .....	15
2.4.4.	PRECIPITADOS MÁS FRECUENTES .....	19

2.4.5.	ESPUMEO.....	19
2.4.6.	ARRASTRE DE SÓLIDOS EN EL VAPOR.....	20
2.4.7.	CORROSIÓN DE LAS LÍNEAS DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO .....	21
2.4.8.	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA .....	22
2.4.9.	PARÁMETROS FÍSICOS.....	22
2.4.10.	PARÁMETROS QUÍMICOS.....	23
2.4.11.	REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA .....	25
2.4.12.	REQUISITOS QUE EL AGUA DEBE CUMPLIR SEGÚN NORMAS	
2.4.13.	PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASME. ....	28
2.5.	TRATAMIENTO DE AGUA PARA USO EN CALDERA ACUOTUBULAR .....	29
2.5.1.	T PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUA A TRAVÉS DE UN ABLANDADOR DE AGUA.....	29
2.5.2.	TRATAMIENTO DE AGUA POR INTERCAMBIO IÓNICO.....	31
2.5.3.	PROCESO DE INTERCAMBIADOR IÓNICO .....	32
2.5.4.	PROCESOS QUE SE UTILIZAN INTERCAMBIO IÓNICO .....	32
3.	MÉTODO EXPERIMENTAL.....	34
3.1.	DIAGRAMA DEL PROCESO.....	34
3.1.1.	DIAGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA DEL INGENIA AZUCARERO SAN BUENAVENTURA (EASBA) .....	34
3.1.2.	EQUIPOS DE ÁREA DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE AGUA.....	34
3.1.3.	DIAGRAMA DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS A LA CALDERA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA (EASBA) .....	42
3.1.4.	EQUIPOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN A LA CALDERA .....	42
3.2.	CÁLCULOS Y DETERMINACIONES.....	48
3.2.1.	DETERMINACIONES DE TIEMPOS DE CONTRALAVADO Y REGENERACIÓN DE RESINAS ANIÓNICAS Y CATIÓNICAS.....	48
3.2.2.	REGENERACIÓN DE RESINAS CATIÓNICAS .....	49
3.2.3.	REGENERACIÓN DE RESINAS ANIÓNICA.....	50
3.2.4.	REGENERACIÓN DE LA COLUMNA MIXTA.....	51

3.2.5.	PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA.....	52
3.3.	DETERMINACIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN A LA CALDERA .....	53
3.3.1.	TRATAMIENTO CORRECTIVO A LA DOSIFICACIÓN PARA LA CALDERA.....	54
3.3.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS .....	54
3.3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL ANÁLISIS CUALITATIVO.....	67
3.3.4.	MEDICIÓN DE pH .....	67
3.3.5.	MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD.....	67
3.3.6.	MEDICIÓN DE DUREZA .....	69
3.3.7.	MEDICIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL.....	70
3.3.8.	MEDICIÓN DE SÍLICE.....	71
3.3.9.	MEDICIÓN DE HIERRO .....	71
3.3.10.	MEDICIÓN DE SULFITO.....	72
4.	DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	74
4.1.	PARÁMETROS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN Y DE CALDERA.....	74
4.1.1.	PARÁMETROS DE LA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA EASBA .....	74
4.1.2.	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RECOMENDADA POR LAS NORMAS ASME .....	74
4.1.3.	PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA.....	75
4.1.4.	PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA.....	75
4.1.5.	SEGUNDA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA.....	77
4.1.6.	TERCERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA.....	78
4.1.7.	TERCERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA .....	79
4.1.8.	CUARTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA.....	80
4.1.9.	CUARTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA .....	80
4.1.10.	QUINTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	81

4.1.11.	QUINTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA .....	82
4.1.12.	SEXTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN .....	83
4.1.13.	SEXTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA.....	84
4.1.14.	SÉPTIMA ETAPA DE ANÁLISIS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN .....	85
4.1.15.	SÉPTIMA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA.....	85
4.2.	GRÁFICOS DEL CONTROL OPERATIVO.....	87
4.2.1.	GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DE LA ALCALINIDAD Y EL pH DE AGUA EN LA CALDERA.....	87
4.2.2.	GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA Y SÍLICE EN EL AGUA DE CALDERA.....	87
4.2.3.	GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA Y SÍLICE EN EL AGUA DE CALDERA.....	88
4.2.4.	EVALUACIÓN MEDIANTE GRÁFICAS SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CALDERA EN DISTINTAS ETAPAS.....	89
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1.	CONCLUSIONES .....	92
5.2.	RECOMENDACIONES.....	93
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	94
7.	ANEXO.....	95
7.1.	ANEXO 1 ARE DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE AGUA.....	95
7.2.	ANEXO 2 SISITEMA DE CONTROL OPERATIVO A DISTANCIA (DCS).....	98
7.3.	ANEXO 3 AREA DE DOSIFICACION DE PRODUCTOS QUIMICOS .....	100
7.4.	ANEXO 4 SISITEMA DE CONTROL A DISTANSIA (DCS) DE CALDERA.....	101
7.5.	ANEXO5 LABORATORIO DE TRATAMIENTO QUÍMICOS DE AGUA .....	102



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

El 15 de septiembre de 2010, y mediante Decreto Supremo N°637, se crea la Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA), como una Empresa pública Nacional Estratégica (EPNE), con el objeto de producir caña de azúcar, azúcar y derivados.

Luego del proceso de licitación pública internacional, el 5 de marzo del 2012, la Empresa Azucarera San Buenaventura – EASBA, firmó contrato con la empresa china CAMCE UNION ENGINEERING, para la ejecución de una Planta Industrial de Azúcar y Derivados bajo la modalidad “Llave en mano”. El plazo de ejecución de la Planta Industrial de azúcar es de 33 meses, a partir de la Orden del Proceder entregada a la Empresa CAMCE UNION ENGINEERING, el 6 de septiembre de 2012. Debido a las intensas lluvias de la gestión 2014, se paralizaron actividades durante 66 días. Plazo adicionado al cronograma inicial. Se tiene previsto realizar la primera zafra de prueba en septiembre de 2015 cumpliendo el cronograma de ejecución previsto inicialmente.

Dada la ubicación del proyecto, se elaboró la Ingeniería Básica Preliminar con una visión de respeto a la madre tierra introduciendo tecnologías nuevas para lograr la mayor eficiencia del proceso productivo industrial con el menor impacto ambiental. Por otra parte, la planta industrial producirá derivados como el alcohol, el bagazo hidrolizado, compost y energía eléctrica que dan a la industria una flexibilidad que le permitirá adecuarse a las condiciones del mercado al mismo tiempo que utilizará todos los residuos generados en el proceso industrial.

El proyecto en todas sus fases y componentes está financiado por tres créditos del Banco Central de Bolivia que cubren tanto la inversión como el gasto de funcionamiento del proyecto. El objetivo de la planta industrial es la de producir un alimento como azúcar para contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria de la región. Al convertirse en un eje mediante el cual se desarrolle la región, la Empresa Azucarera San Buenaventura,

también será un aporte fundamental y estratégico para el proceso de industrialización del país.



## **1.2. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

Las iniciativas para desarrollar la parte norte del departamento de La Paz datan de los años 70. La Corporación Regional de Desarrollo de La Paz (CORDEPAZ) se creó en el año 1971 con tres estrategias de producción: 1. La creación de un polo de desarrollo regional en torno a una industria azucarera ubicada en el municipio de San Buenaventura, 2. La construcción de una represa hidroeléctrica y 3. La exploración y explotación de recursos hidrocarbúricos.

En noviembre del 2006, mediante la Ley N°. 3546 se declara Prioridad Nacional la construcción del Complejo Agroindustrial de San Buenaventura, teniendo como base la implementación del Ingenio Azucarero, para la producción de Azúcar y Alcohol etílico.

En septiembre del 2010, el Gobierno del estado Plurinacional de Bolivia, mediante Decreto Supremo N°. 637 crea la Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA), como Empresa Pública Nacional Estratégica, que tiene como objetivo “la producción de caña de azúcar, así como la producción y comercialización de azúcar y sus derivados, para incentivar la producción nacional con valor agregado en procura de la soberanía y seguridad industrial”. Hasta la fecha se han realizado varios estudios para la Instalación

de un Ingenio Azucarero en el Norte de La Paz, Municipio de San Buenaventura, mismos que son detallados a continuación:

Estudio de Factibilidad Complejo Agroindustrial de la caña de azúcar de San Buenaventura (1985), elaborado por CORDEPAZ.

Estudio de Pre Factibilidad para el Proyecto de Caña de Azúcar (2007), elaborado por El Ceibo Ltda.

Estudio de Factibilidad Economía y Financiera (2009), elaborado por Conservación Internacional Boliviana.

Estudio de Factibilidad de un Ingenio Azucarero con Refinería y Destilería (2010), elaborado por Enlace Consultores en Desarrollo SRL.

Estudio de Ingeniería Básica Preliminar para la Implementación de una Planta Industrial de Azúcar y alcohol. (2010) Elaborado por el MDRyT.

Estudio de Restructuración y Complementación de la Ingeniería Básica Preliminar del Complejo Agroindustrial Azucarera San Buenaventura (2011), elaborado por EASBA.

Estudio de Evaluación Financiera y Económica del Ingenio Azucarero de San Buenaventura (2011), elaborado por EASBA.

### **1.3. VISIÓN Y MISIÓN DE LA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA EASBA**

#### **1.3.1. VISIÓN**

Ser una empresa consolidada y de excelencia que contribuye al desarrollo productivo nacional.

#### **1.3.2. MISIÓN**

Producir, industrializar y comercializar caña de azúcar, azúcar y derivados, contribuyendo a la soberanía productiva, respetando la Madre Tierra

### **1.4. NUESTROS VALORES**

**Trabajo en equipo:** El trabajo en equipo es la capacidad para establecer relaciones de participación, cooperación y empatía, compartiendo recursos y conocimientos, armonizando intereses y contribuyendo activamente al logro de los objetivos de la EASBA de manera transparente.

**Compromiso:** Es la capacidad personal y buena voluntad de los servidores públicos de la EASBA para contribuir con el logro de las prioridades y objetivos de la empresa.

**Capacidad profesional y Responsabilidad:** Trabajamos con excelencia profesional y responsabilidad como forma de trabajar, llevando a cabo las tareas con diligencia, seriedad y compromiso por la EASBA y el país.

**Honestidad y Transparencia:** Todas las actividades se desarrollan con honestidad y transparencia entre los servidores públicos de la EASBA así como con otras entidades y personas externas a nuestra empresa.

### **1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las calderas de vapor son equipos que trabajan a elevadas presiones y temperaturas, por lo cual son susceptibles a presentar daños severos en sus partes internas si no se alimentan con agua tratada que cumpla con los parámetros exigidos para estos equipos, se observó que el área de tratamientos químicos de agua no cuenta con un manual operativo ni un manual de PYD la mala manipulación de los productos químicos como también de los equipos conlleva a no cumplir con los parámetros de calidad exigidos, es necesario determinar y verificar la calidad de agua de alimentación e interna de la caldera usada actualmente y de acuerdo a ello determinar de manera experimental las condiciones del agua, con lo cual se podrá operar la caldera con un adecuado rendimiento y un mayor nivel de seguridad, así mismo se extenderá la vida útil del equipo.

### **1.6. JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio se desarrolla en el área de caldera en la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA, se realizará el diagrama de control operativo del tratamiento químico de agua y de la dosificación de productos químicos, para maximizar la vida útil de los equipos y del caldero considerándose los requerimientos de los parámetros de calidad la producción de agua desmineralizada, en este estudio se demostrará mediante análisis los parámetros de calidad de agua desmineralizada que se produce en la empresa para la caldera, apoyando en las normas internacionales “NORMAS ASME”, por lo que se estaría cumpliendo los requerimientos básicos de calificación y certificación

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. OBJETIVO GENERAL**

- Establecer el tratamiento químico de agua para el uso en una caldera acuotubular, que garantice una operación segura y eficiente de los equipos, eliminando los contaminantes potenciales presentes en el agua de río usada actualmente en la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA, para evitar daños internos en la caldera, dando así el cumplimiento con las normas exigidas.

### **1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un diagrama de todo el proceso del tratamiento químico de agua, para evitar fallas en el manejo de todos los equipos.
- Elaborar un diagrama del proceso de dosificación de productos químicos para la caldera. Realizar el cálculo del volumen de dosificación de productos químicos a la caldera.
- Elaborar un procedimiento operativo para realizar la regeneración de las resinas aniónicas, catiónicas y mixtas para mejorar la producción de agua desmineralizada.
- Elaborar un protocolo describiendo los distintos equipos y métodos de análisis cuantitativos
- Realizar un análisis de resultados a la producción de agua desmineralizada como también al agua de caldera de la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA con las normas internacionales ASME.

## **1.8. ALCANCE**

El presente proyecto está orientado a facilitar el comienzo de nuevas fuentes de investigación, para ello, se menciona los parámetros de producción en la EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA (EASBA) esto con el fin de fortalecer todo el proceso de producción y utilizarlo también como una guía técnica para el nuevo personal operativo, que conlleve a obtener resultados satisfactorios, en operar el área de tratamientos químicos de agua para el buen funcionamiento de la caldera.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ORIGEN DE LOS CALDEROS**

La primera máquina de vapor exitosa fue patentada por Thomas Savery en 1698. Desarrollada para bombear agua por desplazamiento directo, esta máquina tenía limitaciones por el ajuste de la altura de bombeo debido a la presión que tenía que mantener en la caldera. Desagulier, mejoro esta máquina aplicándole la válvula de seguridad inventada por Papin y usando un chorro interno para la parte de condensación del ciclo. La primera máquina de vapor de cilindro y pistón se basó en la sugerencia de Papin en 1690, donde se indica que la condensación del vapor debe usarse para crear un vacío con un pistón, después que se ha incrementado por la expansión del vapor. La máquina atmosférica de Newcomen fue una aplicación práctica de dicho principio. Entre los varios inventos atribuidos a Papin estuvo un caldero con un horno interior. Mientras Papin rechazo sus propias ideas de la máquina de vapor para desarrollar la invención de Savery, Newcomen y su asistente John Cawley, adoptaron las sugerencias de Papin en 1690, en una maquina práctica, en la cual el vapor se admitía desde el caldero a un cilindro donde se movía un pistón por expansión, con el auxilio de un contrapeso en el otro extremo de una viga actuada por el pistón. Entonces, la válvula de vapor se cerraba y el vapor en el cilindro se condensaba por un chorro de agua fría. El vacío formado, forzaba el pistón hacia abajo por medio de la presión atmosférica que actuaba sobre una bomba. El agua condensada en el cilindro se extraía por una válvula de escape por la próxima entrada de vapor, la cual estaba a una presión ligeramente mayor a la atmosférica. El caldero usado por Newcomen, consistía solamente en un fermentador de cervecería hecha de cobre y era conocida como del tipo de cono de heno. Se piensa que, en 1730, el Dr. John Allen, pudo haber hecho la primera determinación de la eficiencia de un caldero. Para reducir dicha perdida, Allen, desarrollo un horno interior con el humo dando vueltas a través del agua como un serpentín en un destilador. Entonces, para prevenir una deficiencia de aire de combustión, el sugirió el uso de fuelles para forzar a los gases a través de la chimenea. Eso probablemente, representa la primera aplicación del tiro forzado. Durante la última mitad de la 18 centuria, el gran inventor James Watt

hizo muchos mejoramientos significativos para la naciente máquina de vapor, la cual fue separada de la caldera. Poco se ha mencionado en la biografía de Watt sobre sus mejoramientos a las calderas de vapor, las evidencias indican que Boulton y Watt introdujeron la primera caldera tipo vagón, que tiene este nombre debido a su apariencia. Esta caldera no era nada más que un vaso cerrado para agua y vapor que se asemeja a un vagón situado sobre un hoyo con fuego. En 1800, Trevithick hizo una máquina para 0.45 MPa teniendo un cilindro de 0.64 metros de diámetro y 3.05 metros de recorrido. La máquina trabajaba a esa presión debido a la construcción de una caldera de mayor presión construida en 1804, que tenía un cilindro de hierro fundido y los extremos de placas. El caldero y la maquina se montaron juntas. Medida que la demanda se incrementó para cantidades grandes de potencia se hizo necesario construir calderas más grandes. Los últimos desarrollos hasta 1870 fue el reemplazo de tubo de gases simple por muchos tubos, lo cual incremento la superficie de calentamiento. Sin embargo, estas calderas de tubos de fuego, tenían límites en su capacidad y presión y no llenaban todos los requerimientos exigidos, y registraron muchas explosiones en las mismas. Un avance importante en el progreso hacia la producción de electricidad al más bajo costo posible, fue la exitosa operación en 1957 de la primera unidad para operación, a una presión de vapor por encima del valor crítico (0.02 MPa) en la planta Philo de la Ohio Powers Company. A este caldero se le llamo de presión universal y fue construida por la B &W generando 306174.85 Kg de vapor/h a 31.02 MPa y un sobrecalentamiento a 621.11°C con dos recalentadores a 565.56 y 537.78°C.

## **2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS**

Existen varias formas de clasificación de las calderas, entre las más importantes tenemos:

### **2.2.1. POR CIRCULACIÓN DEL AGUA Y DE LOS GASES EN LA ZONA DE LOS TUBOS**

#### **❖ Pirotubulares**

Pirotubulares o de tubos de fuego. - El fuego circula, a través de los tubos, se le conoce también como tubos de humo, en este caso, el fuego y los gases calientes de la

combustión que se generan en el horno u hogar, pasan por el interior de los tubos, de uno o varios pasos, hasta llegar a la chimenea. El horno y los tubos están rodeados de agua. Generan bajas presiones y por lo general son más pequeñas que las acuotubulares. La presión máxima de trabajo para estas calderas es alrededor de 3.45 MPa.

#### ❖ **Acuotubulares**

Acuotubulares o de tubos de agua. - El agua circula, a través de los tubos; la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión u horno, y el agua fluye dentro de los tubos. Este tipo de calderas, se utiliza especialmente para generar vapor a elevadas presiones de trabajo, por lo cual tienen un mayor costo que los puros tubulares; también consumen grandes cantidades de agua y combustible. Generalmente las presiones de trabajo de estas calderas se encuentran entre los 3.45 y 20.68 MPa.

#### **2.2.2. POR LA DISPOSICIÓN DE LOS TUBOS**

- Horizontales (Generalmente son pirotubulares).
- Verticales (acuotubulares y pirotubulares).
- Inclinaos

#### **2.3. GENERALIDADES DEL AGUA**

En la naturaleza no es posible encontrar agua pura, sino que cualquiera que sea su procedencia siempre contendrá disueltos y en suspensión una cantidad considerable de impurezas. Estas impurezas las ha ido absorbiendo el agua de los diferentes medios por donde ha tenido que atravesar antes de llegar al punto de donde la tomamos.

##### **2.3.1. CICLO HIDROLÓGICO Y LAS AGUAS NATURALES**

El ciclo inicia con la evaporación de grandes masas de agua hacia la tropósfera. Una vez evaporada, se condensa al entrar en contacto con corrientes de aire frío que producen lluvia y nieve.

El agua de lluvia tiene un pH menor que la proveniente de pozos, ríos, lagos o mares, carece de amortiguadores que lo mantengan neutro en presencia de dióxido de carbono y contaminantes como óxido de azufre, nitrógeno y el oxígeno de la atmosfera. Se llevan a cabo reacciones ácido-base, donde los ácidos del agua de lluvia (dióxido de carbono,



dióxido de azufre y monóxidos de carbono) neutralizan las bases de las rocas, principalmente en aguas subterráneas con alta resistencia. Los minerales aumentan el nivel de sales disueltas. El nivel de contaminación dependerá de las condiciones atmosféricas y climáticas de la región donde precipite, las características geológicas del terreno y de su distribución como aguas superficiales o subterráneas.

### **2.3.2. CLASIFICACIÓN DE IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL AGUA**

- ✓ Si la impureza es un sólido soluble, aparecerá en disolución.
- ✓ Si el sólido no es soluble en agua, está en suspensión.
- ✓ Aquellas impurezas de naturaleza gaseosa que son parcialmente solubles están en estado de absorción en el agua.
- ✓ Las soluciones coloidales tienen partículas en suspensión, entre ellas las que están en estado de disolución y las que están en suspensión. Los coloides se definen como aquellas partículas menores de 0.2 micrómetros y mayores que 0.001 micrómetros en solución.

### **2.3.3. EFECTO DE LAS IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL AGUA**

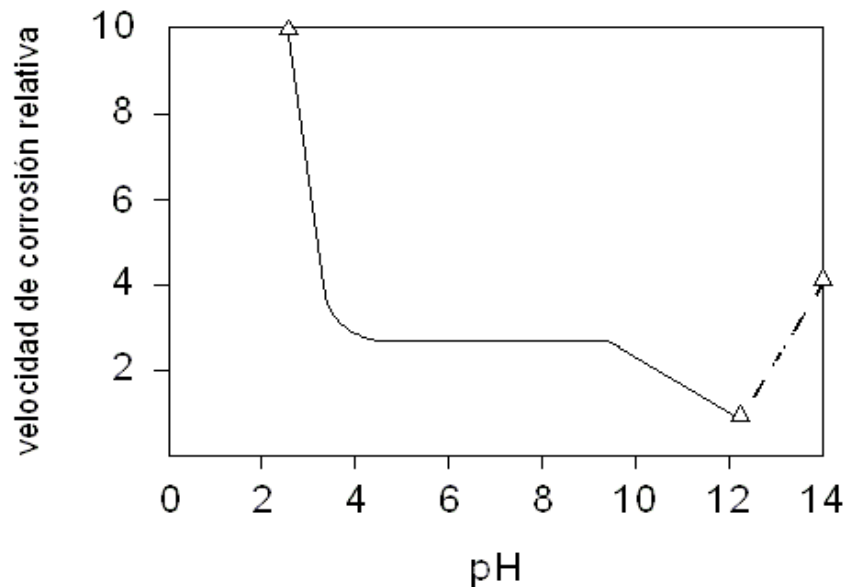
- Disminución de la vida útil de los equipos por gases que lleva el vapor.
- Pérdidas caloríficas por purgas frecuentes.
- Costos elevados de limpieza, reparaciones e inspecciones, entrenamiento y equipo de reserva.
- Arrastre de aguas sucias y minerales por el vapor.
- Ataque de picado por presencia de oxígeno disuelto.
- Corrosión y fragilidad en el acero.
- Averías en tubos y planchas por la disminución de la cantidad de calor transmitido.
- Obstrucción en las redes de distribución de los circuitos de refrigeración, por la proliferación de algas y bacterias.
- Incrustaciones que generan obstrucción en las redes de distribución, en los circuitos

## 2.4. PROBLEMAS GENERADOS POR UN MAL TRATAMIENTO DE AGUA PARA USO EN CALDEROS

### 2.4.1. CORROSIÓN PRODUCIDA POR BAJOS pH

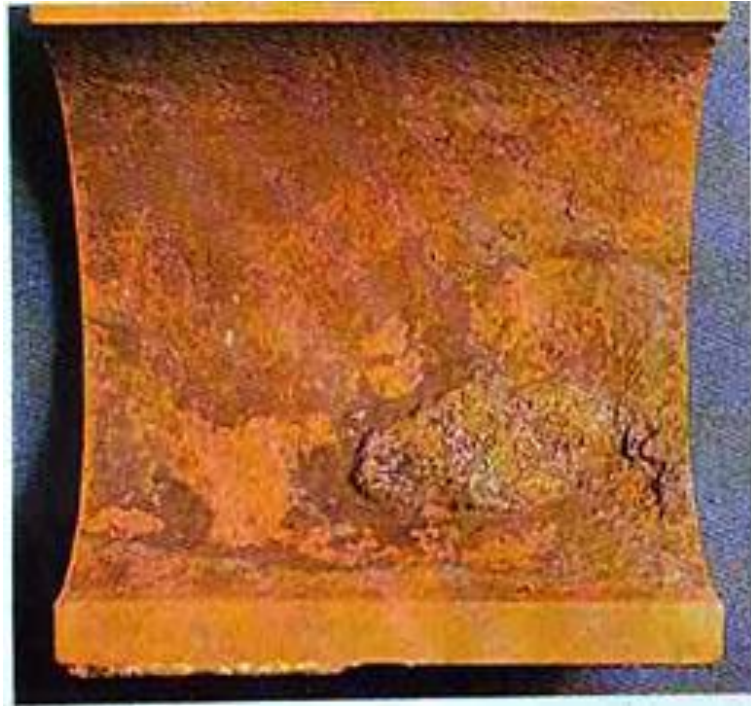
La velocidad de corrosión de la mayor parte de los metales se afecta por el pH. Los metales solubles en ácido, como el hierro, presentan una relación como la que se muestra en la gráfica 1. En el nivel de pH medio ( $\approx 4$  a 10), la velocidad de la corrosión está controlada por la velocidad de transporte del oxidante (generalmente oxígeno disuelto) a la superficie metálica. El hierro es ligeramente anfotérico. A temperaturas muy altas, como las que se encuentran en calderas, la velocidad de corrosión aumenta con el incremento de la basicidad, como muestra la línea punteada.

GRÁFICA 1: VELOCIDAD DE CORROSIÓN VS pH



**Fuente:** GONZALO. R. Operación de Caderas Industriales., 2008.

**Foto 1:** Muestra de metal corroído por Agua con bajos pH



**Fuente:** Eduardo Batule.

La acidez o alcalinidad del agua, gobernada por el pH es otra causa de corrosión. Un pH igual a siete crea una condición neutra, con un valor menos se considera ácida y existe corrosión por acidez. Cuando el pH es superior a siete (mayor de doce) es alcalina; este valor es crítico y ocurre por fragilidad cáustica. Un medio electrolítico (interacción de cargas eléctricas opuestas), causa corrosión, el total de sólidos disueltos, conformado por impurezas con cargas eléctricas negativas, reaccionan con el hierro del caldero que tiene carga positiva. Un adecuado régimen de purga, reduce el riesgo de corrosión por sólidos altos.

**Foto 2:** Caldera operada con agua que contiene el pH bajos (7 – 8,5).  
Se verifica la corrosión uniforme en todas las partes internas de la caldera.



**Fuente:** [www.rb. Bertomeu.com](http://www.rb.Bertomeu.com)

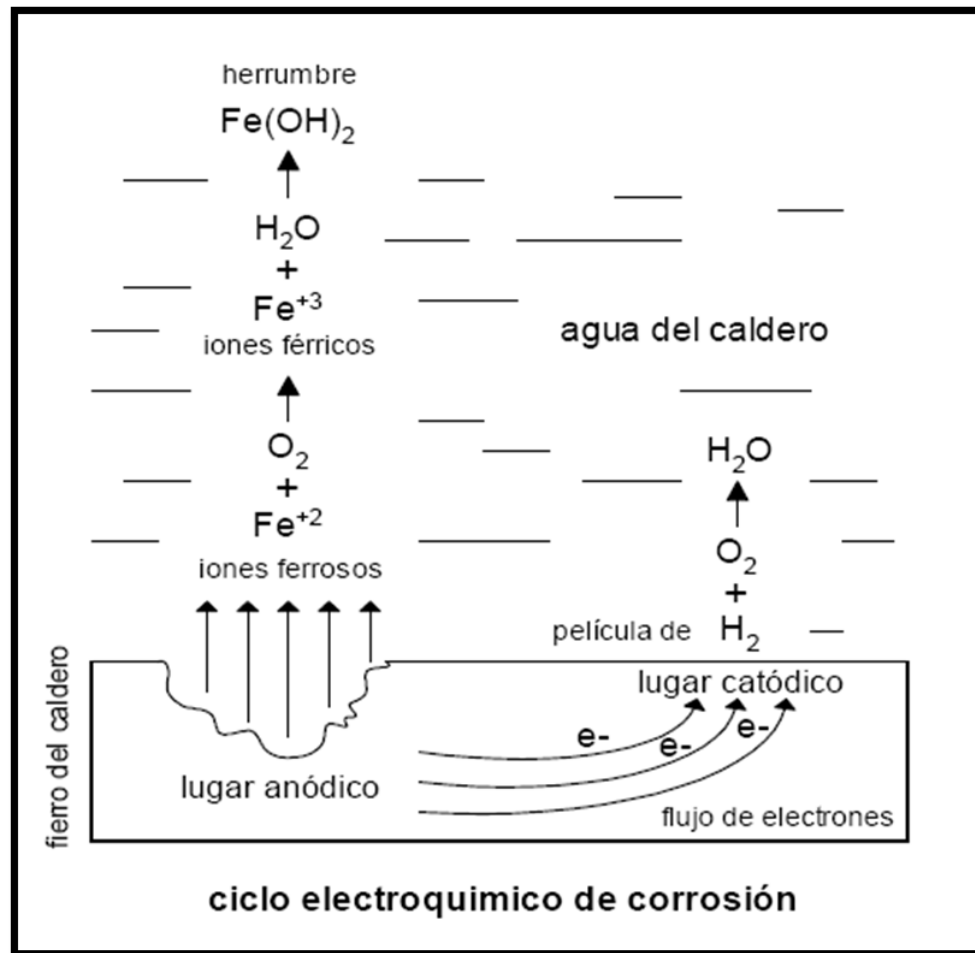
#### **2.4.2. CORROSIÓN PRODUCIDA POR OXÍGENO DISUELTO**

La acción del oxígeno disuelto provoca corrosión en metales como el Hierro, que constituye la estructura de la caldera, en sus tubos y placas. La corrosión es un proceso electroquímico, con un circuito y diferencia de potencial, análogo a la operación de una batería. En el lado del agua de una caldera y sus circuitos anexos de vapor, cualquier irregularidad en la superficie metálica, es potencialmente, un lugar anódico formador de corrosión, sea corrosión generalizada, picadura o ranurado.

El metal actúa como un conductor electrónico y el agua como un medio electrolítico. El sistema permanecerá en equilibrio, la corriente no fluirá si el lugar catódico, que se encuentra en otro punto de la superficie metálica, está polarizado. La reacción entre el acero y el agua, libera hidrógeno, el cual forma una delgada película polarizante en el cátodo. Cuando hay oxígeno disuelto en el agua, se combina con el hidrógeno y el lugar catódico es despolarizado causando el flujo migratorio de electrones.

Cuando la corriente de corrosión fluye, los iones ferrosos entran en solución; los mismos que pueden permanecer como electrolitos o también pueden luego combinarse con el oxígeno para pasar a óxido férrico, este compuesto puede sedimentarse además, como herrumbre en la superficie del metal, causando incrustaciones peligrosas.

**Imagen 2:** Ciclo de corrosión



**Fuente:** [dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)

Además de la perforación de la pared del tubo, la corrosión por oxígeno es problemática desde otra perspectiva. Las picaduras por oxígeno pueden actuar como sitios de concentración de esfuerzos, fomentando de esta manera el desarrollo de grietas por fatiga con corrosión, grietas cáusticas y otras fallas relacionadas con los esfuerzos.

**Foto 3:** Se muestra una típica corrosión por picaduras caracterizada por ampollas porosas en la superficie del metal, las cuales son frágiles y debajo de ellas se verifica el desgaste del metal.



**Fuente:** Tratamiento de agua para calderas – [dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)

**Foto 4:** Se observa incrustaciones y formación de corrosión por picaduras



**Fuente:** Tratamiento de agua para calderas - [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)

**Foto 5:** Se observa claramente la magnitud de las incrustaciones acumuladas en los tubos de intercambio.



**Fuente:** Tratamiento de agua para calderas - [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)

### 2.4.3. FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES

La sedimentación de la dureza del agua de alimentación de las calderas causa el principal de los problemas en equipos generadores de vapor: La incrustación, o sea la formación de capas más o menos porosas de sustancias tales como el sulfato de calcio, el carbonato de calcio y lo mismo con otras sales de magnesio, de sílice precipitada y otras que alteran el normal funcionamiento de las calderas.

La formación de las incrustaciones puede efectuarse por tres mecanismos.

- ❖ Por asentamiento y sedimentación de los sólidos en suspensión.
- ❖ Por cristalización espontánea de las sales al sobresaturarse el agua, efectuándose esta cristalización preferentemente sobre las superficies de calentamientos debido a la disminución de la solubilidad de algunas sales causadas por la temperatura ligeramente más alta que hay en la película de líquido que está en contacto directo con la superficie de calentamiento.
- ❖ Por la evolución de las burbujas en las superficies de evaporación, depositándose todas aquellas sales que venían en solución, en la superficie seca donde la burbuja se está desprendiendo de la placa metálica.

**Tabla 1:** Principales Sales Causantes De Incrustación

<b>NOMBRE</b>	<b>SÍMBOLO</b>
Carbonato de calcio.	$\text{CaCO}_3$
Carbonato ácido de calcio.	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Cloruro de calcio.	$\text{CaCl}_2$
Nitrato de calcio.	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Sulfato de calcio.	$\text{CaSO}_4$
Carbonato de magnesio.	$\text{MgCO}_3$
Carbonato ácido de magnesio.	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
Sulfato de magnesio.	$\text{MgSO}_4$
Cloruro de magnesio.	$\text{MgCl}_2$
Nitrato de magnesio.	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
Óxido férrico.	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Dióxido de silicio.	$\text{SiO}_2$

**Fuente:** Tratamiento de agua para calderas – [dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)



**Foto 6:** Se observan las severas incrustaciones formadas en toda la estructura de los tubos de fuego, presentando en algunos puntos incrustaciones de elevados espesores (>10 mm)



Fuente: Tratamiento de agua para calderas - [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)

**Foto 7:** Se observan las severas incrustaciones formadas en toda la estructura de los tubos de fuego



**Fuente:** Tratamiento de agua para calderas - [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)

**Foto 8:** Se aprecia los tubos de las calderas acuotubulares con severas incrustaciones formadas por sales de Ca y Mg



**Fuente:** [www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo)

**Foto 11:** Se aprecia los tubos de las calderas acuotubulares con severas incrustaciones



**Fuente:** [www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo)

#### **2.4.4. PRECIPITADOS MÁS FRECUENTES**

Según las sales que dan origen a la incrustación, esta tendrá distintas características como consecuencia de su composición química.

Según sus características se les da las siguientes clasificaciones:

- ✓ Carbonatadas.
- ✓ Sulfatadas
- ✓ Silicatos
- ✓ Férricas.

Estas se les pueden reconocer según sus características de la siguiente manera:

- Atacándolas con ácidos fuertes, observando sus propiedades físicas que son las que efectivamente nos la hace diferenciarlas.
- Las incrustaciones carbonatadas son solubles en ácidos produciéndose un fuerte desprendimiento de burbujas de dióxido de carbono, se presenta generalmente con aspecto granular y poroso.
- Las incrustaciones sulfatadas se disuelven en ácidos calientes sin ninguna producción de burbujas, son de aspecto apretado y homogéneo, más duras y pesadas que las carbonatadas, quebradizas y difíciles de pulverizar.
- Las incrustaciones férricas son solubles en ácidos calientes produciendo una coloración café, su aspecto es de color oscuro característico, presenta propiedades magnéticas, son poco duras, generalmente se presentan como consecuencia de la complicación de las otras clases de incrustación con la corrosión del metal interior de la caldera.

Lo más común es que sea una mezcla de varios de los tipos existentes, ya que el agua contiene generalmente varias sales disueltas y solo en casos muy especiales contiene un solo tipo de impurezas.

#### **2.4.5. ESPUMEO**

El espumeo o espumaje es un problema que frecuentemente se presenta en la operación de las calderas y que consiste en la formación de una capa de espuma sobre la superficie libre del líquido dentro de la caldera. Esta capa de espuma ocupa una parte del espacio

de vapor y reduce este espacio considerablemente haciendo más fácil el arrastre de agua por el vapor que sale de la caldera.

Los sólidos en suspensión en el agua de la caldera fueron considerados por mucho tiempo como los causantes del espumeo, en la actualidad se considera que no son ellos los responsables.

- El carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio disminuyen la formación del espumeo.

En resumen estos sólidos en suspensión, no producen espumeo. Las diferentes acciones de carbonato de calcio según la forma como se precipita parece deberse a que el precipitado tiene distinta constitución física, ya que en un caso forma partículas finas, blandas y que permanecen en suspensión en una proporción elevada (precipitación en exceso de carbonato de calcio), mientras en el otro las partículas son grandes y granuladas (precipitado por descomposición de bicarbonato de calcio).

El hidróxido de magnesio envuelve a las partículas de carbonato de calcio con una capa de precipitado gelatinoso. Otras causas a las cuales se atribuye el espumeo, son la filtración de aceite que pueda entrar al caldero mezclado con el agua de retorno de condensado procedentes de la lubricación de bombas y equipos de aprovechamiento del vapor u otras clases como desechos vegetales que vengan en el agua cruda como efecto de la filtración. Además, se considera como causa importante del espumeo la alta alcalinidad.

#### **2.4.6. ARRASTRE DE SÓLIDOS EN EL VAPOR**

El arrastre es causado por las partículas de agua atomizada arrastradas por el vapor. El vapor pierde “Título” o calidad calórica y los sólidos y gases provenientes del agua interna de la caldera, produce una serie de problemas en las líneas de vapor y condensado, lo mismo que en los equipos intercambiadores donde se dirige el vapor. Además, si el uso de vapor es directo, contamina las sustancias del proceso, alterando la calidad de las mismas.

#### **2.4.6.1. CAUSAS QUÍMICAS DEL AGUA**

Excesiva concentración de S.T.D. (sólidos disueltos) y sólidos suspendidos (lodos).

- A concentraciones superiores a 5000 mg/L en el agua interna de la caldera se presenta arrastre de sólidos en el vapor.

Excesiva concentración de alcalinidad total.

- A concentraciones superiores a 3500 mg/L en el agua interna de la caldera se presenta arrastre de sólidos en el vapor.

Contaminación orgánica.

- La presencia de sustancias orgánicas de naturaleza oleosa y producen espumaje en la superficie de ebullición.

#### **2.4.6.2. CAUSAS MECÁNICAS**

- Diseño de la caldera
- Tipo de tubos y complejidad interna.
- Turbulencia del agua de caldera.
- Alto nivel del agua interna de la caldera.
- Cámaras o domos del vapor muy pequeños.
- Demandas repentinas de vapor.
- Velocidad indebida del vapor.

#### **2.4.7. CORROSIÓN DE LAS LÍNEAS DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO**

La corrosión electroquímica también sucede en las líneas de vapor y condensado y es ocasionada principalmente por el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) disuelto y ionizado en el agua interna de la caldera, que es conducido junto con el vapor en las líneas de vapor y condensado. Este forma ácido carbónico en los puntos de condensación del vapor y reduce el pH del condensado de vapor, lo cual genera una corrosión ácida en las tuberías de retorno de condensados.

Los diferentes óxidos de hierro formados son sedimentables y son los causantes de incrustaciones y/o taponamientos en las tuberías de vapor y condensado.

Otra fuente de contaminación de las líneas de vapor y condensado la tenemos en el bicarbonato de calcio, que con el calor interno de la caldera, se descompone en carbonato de calcio y anhídrido carbónico.

La última fuente de contaminación con CO<sub>2</sub> la tenemos en la hidrolización según la temperatura, del carbonato sódico en soda cáustica y gas carbónico.

**Foto 12:** Se aprecia la corrosión ocasionada por un condensado ácido en una tubería de retorno de vapor condensado



**Fuente:** <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream>

#### **2.4.8. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA**

La calidad de agua y vapor requeridos por los estándares de aceptación internacional vigentes, veremos cuáles son los parámetros físicos y químicos que definen a la calidad y su relación con los problemas operacionales generados cuando sus magnitudes están fuera de lo recomendado

#### **2.4.9. PARÁMETROS FÍSICOS**

Entre los más relevantes encontramos a los siguientes:

##### **2.4.9.1. TURBIDEZ**

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. La turbidez se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

#### **2.4.9.2.CONDUCTIVIDAD**

La conductividad eléctrica es una medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica a su a través. Este parámetro está relacionado con la concentración de sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la energía eléctrica.

La conductividad en el Sistema Internacional se expresa en Siemens por centímetro [S/cm] o en submúltiplos: mili Siemens [mS/cm] o en micro Siemens [ $\mu$ S/cm]. También puede expresarse en su valor inverso que es la resistividad eléctrica medida en [Ohm/cm] y sus submúltiplos. Ejemplos: Agua pura: 0.055  $\mu$ S/cm, Agua destilada: 0.5  $\mu$ S/cm

La conductividad generalmente aumenta con la temperatura, por lo que es necesario corregirla. Para realizar mediciones comparativas, la temperatura de referencia es de 20 °C ó 25 °C. Este es uno de los parámetros más importantes en el control de calidad ya que está asociado a otros parámetros químicos.

#### **2.4.10. PARÁMETROS QUÍMICOS**

Entre los más importantes tenemos:

##### **2.4.10.1. pH**

Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa y mide la concentración de iones hidrógeno. Se define como  $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$  y está dado en una escala de 0-14 en la que el valor  $\text{pH} = 7$  establece el punto o condición de neutralidad. Los valores de  $\text{pH} < 7$  son ácidos y los  $\text{pH} > 7$  son alcalinos. . Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella

#### **2.4.10.2. DUREZA**

Mide la capacidad del agua para producir incrustaciones y es debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio. La dureza del agua se expresa normalmente como cantidad equivalente de carbonato de calcio ( $\text{mg CO}_3\text{Ca} / \text{lt} = \text{ppm CO}_3\text{Ca}$ ) o en grados hidrométricos, de los cuales el más común es el francés ( $1^\circ\text{F} = 10 \text{ ppm CO}_3\text{Ca} / \text{lt agua}$ ). Se puede expresar también en milimol / lt = 100 ppm de  $\text{CO}_3\text{Ca}$

#### **2.4.10.3. ALCALINIDAD**

Es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , carbonato,  $\text{CO}_3^{=}$ , y oxhidrilo,  $\text{OH}^-$ , pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Este parámetro se puede expresar de dos formas: como alcalinidad total (TAC) o alcalinidad simple (T), las que a su vez son conocidas como alcalinidad (m) y (p) respectivamente. Se expresa en ppm de  $\text{CO}_3\text{Ca}$

#### **2.4.10.4. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDS)**

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. Su origen puede ser orgánico como inorgánico. Se expresa en ppm y se puede determinar por gravimetría o conductividad. Un TDS alto indica dureza del agua.

#### **2.4.10.5. SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (TSS)**

Los sólidos en suspensión son una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Se expresa en ppm.

#### **2.4.10.6. TOTAL DE SÓLIDOS (TS)**

Este valor está dado por la suma de los sólidos disueltos y sólidos suspendidos

#### **2.4.10.7. SÍLICE**

La sílice,  $\text{SiO}_2$ , se encuentra en el agua disuelta como ácido silícico,  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ , y como materia coloidal. Contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua. La sílice tiene mucha importancia en los usos industriales porque forma incrustaciones en las calderas, en los



sistemas de refrigeración y forma depósitos insolubles sobre los álabes de las turbinas. Se expresa en ppm.

#### **2.4.10.8. GASES DISUELTOS**

Tenemos los más importantes que son el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua. Un exceso de CO<sub>2</sub> hace al agua corrosiva debido a la formación de ácido carbónico, factor importante en las líneas internas en la generación de vapor y condensados. El oxígeno (O<sub>2</sub>), por su carácter oxidante, juega un papel importante en la solubilidad o precipitación de iones que presentan una forma insoluble y provoca la corrosión de los metales, en líneas y equipos

#### **2.4.10.9. ÍNDICE DE LANGELIER (IL)**

Es un índice para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la dureza y la alcalinidad total. Según sus valores podemos tener:

IL = 0 el agua está equilibrada

IL < 0 indica que el agua es corrosiva (- 0.5 a -1.5)

IL > 0 indica que el agua es incrustante (0.5 a 1.5)

$$\text{se calcula como: IL} = \text{pH} + \text{T} + \text{D} + \text{A} - 12.5$$

#### **2.4.11. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA**

Para prevenir los distintos mecanismos de desgaste y los problemas que de ellos se derivan, distintas organizaciones de fabricantes, usuarios y de entes investigadores del mercado de calderas y de la generación de energía, han fijado normas estableciendo los requisitos que el agua debe cumplir antes de su ingreso a la caldera como dentro de la misma. De forma idéntica con respecto al vapor que genera. Entre las normas más difundidas encontramos:

Estándares Europeos

- ✓ VGB-S-010-T-00: 2011-12.EN: Feed Water, Boiler Water and Steam Quality for Power Plants / Industrial Plants

- ✓ EN 12952-12: 2012: Water-tube boilers and auxiliary installations - Part 12: Requirements for boiler feedwater and boiler water quality

#### Estándares Americanos

- ✓ EPRI 1010181: Condensate Polishing Guidelines for Fossil Plants – 2006 – Electric Power Research Institute
- ✓ ASME CRTD-Vol 34: Consensus on Operating Practice for the Control of Feedwater and Boiler Water Chemistry in Modern Industrial Boiler (1994)
- ✓ ABMA-BOILER 402: Boiler Water Quality Requirements and Associated Steam Quality for ICI Boilers, 2012. American Boiler Manufacturers Association

**2.4.12. REQUISITOS QUE EL AGUA DEBE CUMPLIR SEGÚN NORMAS** Los valores recomendados para los distintos parámetros se pueden ver en las tablas siguientes según algunos de los distintos estándares citados. Aquí es importante prestar atención a las unidades en que se expresan los distintos parámetros, especialmente entre los europeos y americanos, especialmente entre los europeos y americanos.

Parameter	Unit	Feedwater containing dissolved solids			Feedwater and attemporator spray water demineralized	Make-up water for hot water generators
		> 0,5 to 20	> 20 to 40	> 40 to 100		
Operating pressure	bar	> 0,5 to 20	> 20 to 40	> 40 to 100	total range	total range
Appearance	—	clear, free from suspended solids				
Direct conductivity at 25 °C	µS/cm	not specified, only guide values for boiler water relevant, see table 5.2			—	not specified, only guide values for boiler water relevant, see table 5.2
Acid conductivity at 25 °C <sup>a</sup>	µS/cm	—	—	—	< 0,2	—
pH value at 25 °C <sup>b</sup>	—	> 9,2 <sup>c</sup>	> 9,2	> 9,2	> 9,2 <sup>d</sup>	> 7,0
Total hardness (Ca + Mg)	mmol/l	< 0,02 <sup>e</sup>	< 0,01	< 0,005	—	< 0,05
Sodium and Potassium concentration	mg/l	—	—	—	< 0,010	—
Iron (Fe) concentration	mg/l	< 0,050	< 0,030	< 0,020	< 0,020	< 0,2
Copper (Cu) concentration	mg/l	< 0,020	< 0,010	< 0,003	< 0,003	< 0,1
Siilca (SiO <sub>2</sub> ) concentration	mg/l	not specified, only guide values for boiler water relevant, see table 5.2			< 0,020	—
Oxygen (O <sub>2</sub> ) concentration	mg/l	< 0,020 <sup>f</sup>	< 0,020	< 0,020	< 0,1	—
Oil/grease concentration (see EN 12952-7)	mg/l	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1
Organic substances (as TOC) concentration	mg/l			< 0,5 <sup>g</sup>	< 0,2	see footnote <sup>h</sup>
Alternately permanganate index	mg/l	5	5	3	5	—

<sup>a</sup> The influence of organic conditioning agents should be additionally considered.  
<sup>b</sup> With copper alloys in the system the pH value shall be maintained in the range 8,7 to 9,2.  
<sup>c</sup> With softened water pH value > 7,0 the pH value of boiler water according to table 5.2 should be considered.  
<sup>d</sup> For injecton water only volatile alkalinizing agents shall be permitted.  
<sup>e</sup> At operating pressure < 1 bar total hardness max. 0.05 mmol/l shall be acceptable.  
<sup>f</sup> Instead of observing this value at intermittent operation or operation without deaerator, film forming agents an  
<sup>g</sup> At operating pressure > 60 bar, TOC < 0,2 mg/l is recommended.

**Tabla N° 2** Calidad de agua de alimentación y de caldera según EN 12952-12: 2003

SUGGESTED WATER CHEMISTRY LIMITS							
INDUSTRIAL WATERTUBE, HIGH DUTY, PRIMARY FUEL FIRED, DRUM TYPE							
Makeup water percentage: Up to 100% of feedwater Conditions: Includes superheater, turbine drives, or process restriction on steam purity Saturated steam purity target: See tabulated values below.							
Drum Operating Pressure (1)	psig 0-300	301-450	451-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500
<b>Feedwater(7)</b>							
Dissolved oxygen ppm (mg/l) O <sub>2</sub> -measured before chemical oxygen scavenger addition (8)	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	< 0.007	<0.007
Total iron ppm (mg/l) Fe	≤0.1	≤0.05	≤0.03	≤0.025	≤0.02	≤0.02	≤0.01
Total copper ppm (mg/l) Cu	≤0.05	≤0.025	≤0.02	≤0.02	≤0.015	≤0.01	≤0.01
Total Hardness ppm	≤0.3	≤0.3	≤0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.05	ND
pH @ 25°C	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.8-9.6	8.8-9.6
Chemicals for preboiler system protection	NS	NS	NS	NS	NS	VAM	VAM
Nonvolatile TOC ppm (mg/l) C (6)	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.2	<0.2
Oily matter ppm (mg/l)	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.2	<0.2
<b>Boiler Water</b>							
silica ppm (mg/l) SiO <sub>2</sub>	≤150	≤90	≤40	≤30	≤20	≤8	≤2
Total alkalinity ppm (mg/l)*	<700(3)	<600(3)	<500(3)	<200(3)	<150(3)	<100(3)	NS(4)
Free OH alkalinity ppm (mg/l)* (2)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ND(4)
Specific conductance (12) μmhos/cm (μS/cm) 25°C without neutralization	5400-1100(5)	4600-900(5)	3800-800(5)	1500-300(5)	1200-200(5)	1000-200(5)	≤150
<b>Total Dissolved Solids in Steam (9)</b>							
TDS (maximum) ppm (mg/l)	1.0-0.2	1.0-0.2	1.0-0.2	0.5-0.1	0.5-0.1	0.5-0.1	0.1

\*as CaCO<sub>3</sub>

**Fuente:** ASME, Sociedad Americana de Ingenieros Industriales

Además del arrastre, otra fuente de contaminación que debe ser evaluada es la atemperación del vapor cuando se usa atemperador de mezcla. En estos equipos debe prestarse especial atención a la calidad de agua empleada, ya que se puede producir una importante contaminación

Para evitar estos problemas y por cuestiones de garantía de la vida útil de las turbinas, los fabricantes han establecido determinados niveles de pureza en el vapor que el cliente deberá garantizar en la operación de la caldera. La pureza del vapor, es la cantidad de contaminantes saliendo del domo y medidas en [ppm] y el título, es la cantidad de vapor

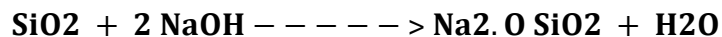
seco por kg.de vapor húmedo [kg./ kg]. Ambos parámetros deben ser monitoreados especialmente en las unidades de grandes potencias

La determinación del título tiene interés, ya que la fracción de agua contiene una concentración muy alta de contaminantes. Lo ideal es que el vapor fuese totalmente seco, lo cual en la práctica es imposible. La determinación del título puede hacerse siguiendo el estándar ASME PTC 19.11- 2008.

Por las razones anteriores es que las normas establecen los valores máximos permitidos de los componentes que pueden originar depósitos, acidez o arrastres de impurezas con el vapor. Uno de los componentes causantes de los depósitos en las turbinas es la sílice (SiO<sub>2</sub>), que puede llegar a volatilizarse y ser transportada por el vapor, especialmente cuando las presiones de trabajo están por arriba de los 28 bares. La volatilización y arrastre de sílice se produce cuando:

- La concentración de sílice es muy elevada en el agua de caldera para las condiciones operativas de la caldera (presión y temperatura de vapor)
- El pH del agua de caldera es muy bajo.

Las reacciones más probables que se producen con la volatilización de la sílice son



#### **2.4.13. PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASME.**

Es importante realizar un estudio exhaustivo para poder identificar las normas internacionales con las que muchos ingenios suelen trabajar para realizar un control sobre los parámetros que se trabaja. Para poder operar una caldera de vapor de alta presión es necesario tener conocimiento sobre los parámetros de control, la norma ASME-EN nos brinda parámetros de control con respecto al agua. Para operar a 65 bares y 480 °C las condiciones básicas que deberán cumplirse para el agua de alimentación y agua de caldera son las siguientes

### Condiciones Requeridas Para Una Caldera Acuotubular

Parámetros	H <sub>2</sub> O alimentación	H <sub>2</sub> O caldera
pH	8.5 – 9.6	9.8 – 10.5
TSD	< 20 ppm	< 1200 ppm
Conductividad SC	< 30 $\mu$ S/cm	< 1500 $\mu$ S/cm
Conductividad ácida (CC)	-	-
Alcalinidad	-	< 200 ppm
Dureza	< 0.5 ppm	
SiO <sub>2</sub>	-	< 8 ppm
Mat. orgánica	< 0.2 ppm	

Fuente: [Carlos O. Alderete Calderas a Bagazo]

## 2.5. TRATAMIENTO DE AGUA PARA USO EN CALDERA ACUOTUBULAR

### 2.5.1. TRATAMIENTO DE AGUA A TRAVÉS DE UN ABLANDADOR DE AGUA

La dureza en el agua se está formada por todas las sales que contienen los iones Calcio (Ca<sup>2+</sup>) y Magnesio (Mg<sup>2+</sup>) el agua, siendo las más importantes el bicarbonato de calcio, sulfato de calcio, etc. Estos iones o minerales son los causantes de la formación de depósitos en las tuberías y demás equipos utilizados en los sistemas de agua potable y de agua industrial.

El ablandamiento del agua se realiza con el uso de resinas de intercambio iónico, las cuales retienen los iones de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> y los intercambian por iones Na<sup>+</sup>, convirtiendo todas las sales de dureza en sales sódicas, las cuales son muy solubles y no forman incrustaciones severas.



El agua para uso en calderos debe estar libre de dureza total, teniendo una tolerancia de 2 ppm CaCO<sub>3</sub> para evitar daños en las partes internas del caldero.

Los ablandadores de agua ofrecen una solución para la eliminación de la dureza total del agua para uso en calderas.

El ablandamiento del agua para uso en calderas es sumamente importante, debido a las siguientes razones:

**Evita que las partes internas de las calderas formen incrustaciones.**

**Reduce los costos operativos de la caldera;** una caldera que está libre de incrustaciones mantiene un elevado rendimiento, mientras que una caldera incrustada incrementa su consumo de combustible para poder generar la cantidad de vapor deseada.

**Reduce la pérdida de producción;** una caldera incrustada demora en elevar presión y disminuye la cantidad de vapor generado, a pesar de consumir mayor cantidad de combustible, lo cual limita la producción a la generación de vapor de la caldera.

**Aumenta el nivel de seguridad;** una caldera incrustada sufre del sobrecalentamiento de los tubos de fuego debido a que las incrustaciones reducen la transferencia de calor, lo cual puede deformar los tubos y/o desprenderlos de la placa obligando a realizar paradas forzosas de mantenimiento.

El ablandador no debe dejar pasar más de 5 ppm CaCO<sub>3</sub> de dureza total, si la dureza supera este valor, se deberá proceder a regenerar, por lo que es necesario realizar mediciones de dureza total diariamente.

Actualmente existen equipos de operación manual y automáticos, siendo estos últimos los que están teniendo mayor preferencia debido a que no dependen de un operador que realice la regeneración.

### **2.5.2. TRATAMIENTO DE AGUA POR INTERCAMBIO IÓNICO**

Actualmente, este método tecnológico moderno es utilizado en muchas industrias para el tratamiento de agua utilizando el intercambiador iónico y se utiliza en la desmineralización del agua, aunque también es muy utilizado para remover diversidad de sustancias tales como la desalcalinización, desionización, y desinfección.

En los últimos años en la producción de agua potable se ha incrementado el uso de resinas de intercambio iónico, también en este campo se empezaron a diseñar resinas especiales para distintos contaminantes que son realmente perjudiciales en el amplio tratamiento del agua

### **2.5.3. PROCESO DE INTERCAMBIADOR IÓNICO**

El intercambiador de iones tiene la particularidad de ser un proceso químico reversible y rápido en el cual los iones disueltos no deseados que se encuentran presentes en el agua son reemplazadas por iones con una carga similar.

Esta reacción de intercambio se realiza por medio de un polímero especial que son diminutas esferas, las cuales son capas de intercambiar. Estas diminutas esferas tienen el nombre de “Resinas de intercambio iónico”

El ion es un átomo o moléculas que contiene la misma cantidad de electrones y protones, los cuales a su vez se dividen en grupos, los cationes, que cuentan con carga positiva y los aniones, que poseen carga negativa, estas reciben el nombre gracias al químico británico Michael Faraday.

Este intercambio de iones se efectúa mediante un polímero en forma de diminutas esferas que tienen la capacidad de poder realizar el intercambio iónico.

El objeto principal en la purificación del agua es el de ablandar el agua para así eliminar el contenido mineral esta reacción se debe a que los cationes de sodio  $\text{Na}^+$  son intercambiados por calcio  $\text{Ca}^{2+}$  y magnesio  $\text{Mg}^{2+}$ , los cuales son más fuertes.

### **2.5.4. PROCESOS QUE SE UTILIZAN INTERCAMBIO IÓNICO**

- ❖ Suavizador de agua (eliminación de la dureza).
- ❖ Desalcalinización (elimina carbonatos).
- ❖ Descationización (eliminación de todos los cationes).
- ❖ Desmineralización (eliminación de todos los iones).
- ❖ Lecho mixto (nitratos y desmineralización).
- ❖ Eliminar metales



#### **2.5.4.1. SUAVIZACIÓN DE AGUA**

Las resinas de intercambio catiónico son caracterizados por ácido fuerte, que se utilizan en forma de sodio, eliminan estos cationes de la dureza del agua. Los suavizadores, cuando presentan saturación con estos cationes, se realizan la regeneración con ácido clorhídrico o también se puede utilizar cloruro de sodio.

#### **2.5.4.2. DE-ALCALINIZACIÓN**

Durante este proceso se utiliza en particular una resina catiónica de ácido débil, debido a que este tipo de resinas tienen una gran capacidad de poder eliminar la dureza del agua aun así contenga alcalinidad. Una vez pasado el tratamiento, el agua llegará a contener dióxido de carbono, el cual se puede remover con una cama descalcificadora.

#### **2.5.4.3. DESMINERALIZACIÓN**

La desmineralización también es conocida como desionización. En muchas aplicaciones los iones en su totalidad deben ser eliminados. En un caso en particular cuando el agua se calienta. Como sabemos existen cationes y aniones, debido a ello se debe utilizar 2 tipos de resinas: un intercambiador catiónico y un intercambiador anionico. Esta combinación es la que produce el agua pura. Mientras que la resina de aniones se utiliza en forma de hidroxilo (OH) y la resina de iones se emplea en forma de hidrogeno (H+). En este proceso se puede observar la formación de dióxido de carbono donde es necesario emplear un desgasificador, este gas es formado a causa del intercambiador iónico, esto también sucede cuando el agua a tratar concentra una considerable cantidad de bicarbonato.

#### **2.5.4.4. LECHO MIXTO O RESINAS MIXTAS**

En estas resinas mixtas (catiónicas y aniónicas) que se utilizan comúnmente después de un proceso de desmineralización por intercambio iónico u osmosis inversa, como un pulido. Tienen una gran preferencia por el sílice, donde se mezclan de catión de ácido fuerte y resinas aniónicas de base fuerte.

Unidas forman el lecho mezcla, entrega una excelente calidad de agua tratada, pero en el proceso de regeneración es un poco complicado, debido a que las resinas deben separarse por el retro lavado para poder regenerarlas.

### **3. MÉTODO EXPERIMENTAL**

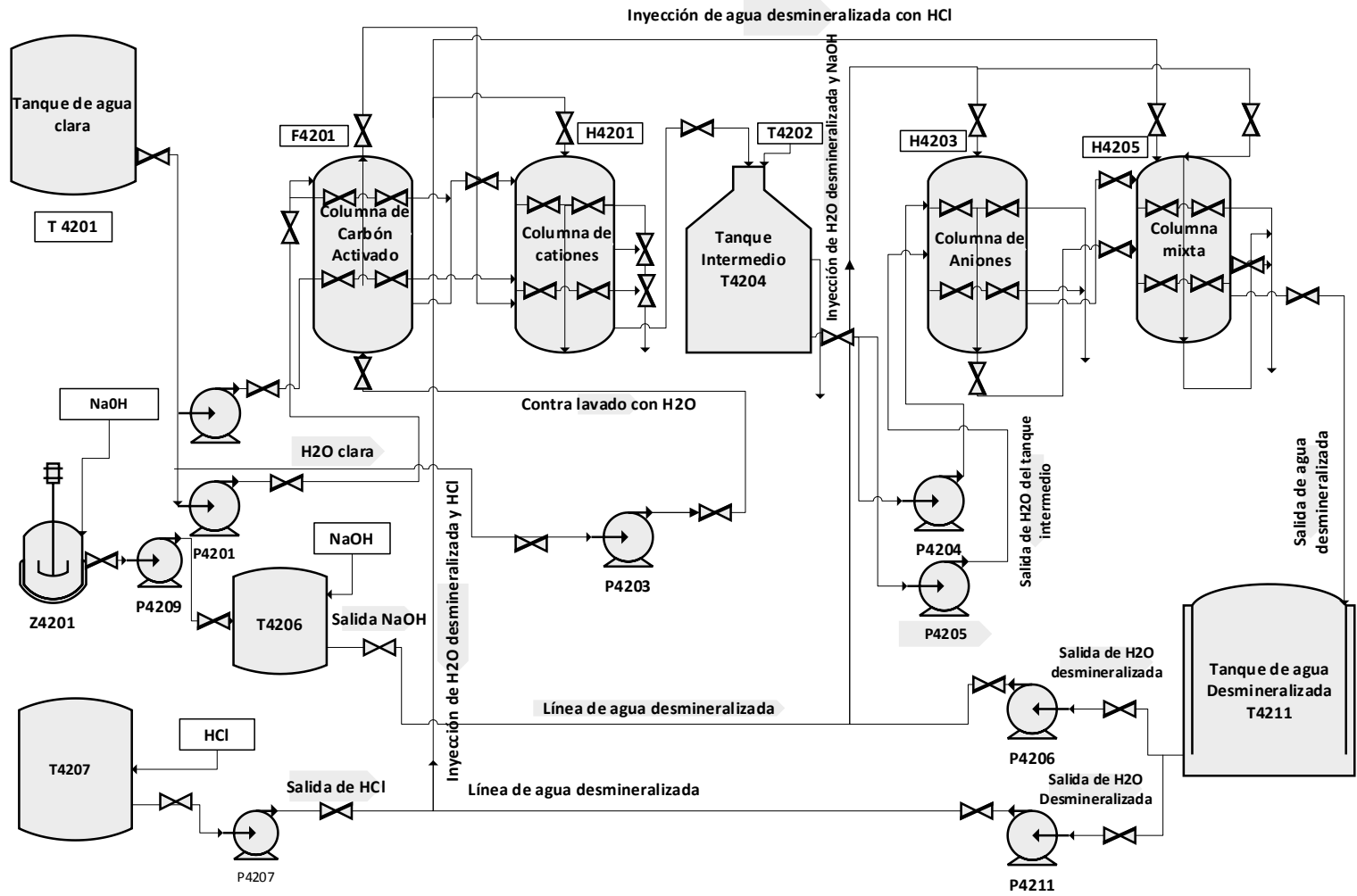
#### **3.1. DIAGRAMA DEL PROCESO**

Todas las aguas naturales contienen impurezas en cantidades variables, dependiendo de su previa historia y sus contactos con la atmósfera y el suelo. Como resultado, las aguas naturales pueden contener impurezas tales como sólidos suspendidos, color, bacterias, gases disueltos y sales minerales disueltas para los propósitos industriales. Se ve por conveniente describir el proceso de producción mediante un diagrama de proceso global y específico.

##### **3.1.1. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA DEL INGENIA AZUCARERO SAN BUENAVENTURA (EASBA)**

**3.1.2.** Este diagrama detalla de manera esquemática el proceso de producción de agua desmineralizada para la caldera desde la alimentación de agua central hasta su almacenamiento al tanque de agua desmineralizada del Ingenio Azucarero San Buenaventura.

DIAGRAMA DE PROCESO DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE AGUA EN LA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA (EASBA)



### **3.1.3. EQUIPOS DE ÁREA DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE AGUA**

- (1) Tanque De Alimentación De Agua De Central De Agua Química T4201
- (2) Bomba De Alimentación De Agua P4201y La P4202
- (3) Bomba De Lavado A Contracorriente P4203
- (4) Filtrador De Carbón Activado F4201
- (5) Intercambiador de Cationes H4202
- (6) Tanque De Agua Intermedio T4204
- (7) Quitador De Dióxido De Carbono T4202
- (8) Bomba De Agua Intermedio P4204 Y P4205
- (9) Intercambiador De Anión H4203
- (10) Intercambiador De Ión Mixto H4205
- (11) Tanque De Depósito De Ácido T4207
- (12) Tanque De Deposito De Álcali T4206
- (13) Tanque De Disolución De Soda Cáustica (NaOH) Z4201
- (14) Bomba De Transportador De Álcali P4209
- (15) Bomba De Transportador De Ácido Clorhídrico (HCl) P4207
- (16) Tanque De Agua Desmineralizada T4211
- (17) Bomba De Salina De Agua Desmineralizada P4211 Y P4206

### **3.1.3.1. TANQUE DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CENTRAL DE AGUA QUÍMICA T4201**

El tanque de almacenamiento de agua es un tipo de recipiente atmosférico, que consta de la placa base, paneles de yeso y la placa superior. El tanque de almacenamiento está equipado con tubería de alimentación interior y el cuerpo de la carcasa es de construcción de acero al carbono. La parte inferior y superior, respectivamente, se proveen con una boca de inspección. La parte inferior está equipada con una toma de corriente de descarga de aceite, que se utiliza para la descarga de aceite o para drenar el agua durante la limpieza del tanque de almacenamiento.

Un agujero transparente está fijado en el techo del tanque y normalmente se debe mantener abierto. El medidor de nivel de líquido está instalado en el lado del tanque para controlar el nivel del líquido, el volumen de este tanque es de 100 m<sup>3</sup>. Este tanque de almacenamiento es tipo vertical, y se utiliza principalmente para almacenar agua durante la producción.

### **3.1.3.2. BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA P4201**

La bomba centrífuga horizontal de serie DFW la bomba centrífuga tubular de tipo ISG. Debido a que el motor de la bomba se conecta directamente con la bomba, se simplifica la estructura de transmisión intermedia y mejora la estabilidad del funcionamiento, con un caudal de 52 m<sup>3</sup>/h y tiene ventajas tales como ruido bajo, el mantenimiento conveniente, la vibración pequeña etc.

Se aplica principalmente para la alimentación de agua a la columna de carbón activado, siendo esta la principal fuente de alimentación para la producción de agua desmineralizada

### **3.1.3.3. BOMBA DE LAVADO A CONTRACORRIENTE P4203**

La bomba centrífuga horizontal de serie DFW la bomba centrífuga tubular de tipo ISG. Debido a que el motor de la bomba se conecta directamente con la bomba, se simplifica la estructura de transmisión intermedia y mejora la estabilidad del funcionamiento, con

un caudal 243m<sup>3</sup>/h y tiene ventajas tales como ruido bajo, el mantenimiento conveniente, la vibración pequeña etc.

Se aplica principalmente para realizar él contra lavado de la columna de carbón activado, es necesario usar una bomba de mayor caudal así mismo de mayor presión para remover las incrustaciones dentro de la columna y tener un buen contra lavado de la columna.

#### **3.1.3.4. FILTRADOR DE CARBÓN ACTIVADO F4201**

El filtro de carbón activado realiza la adsorción física de la impureza en el agua con el floculante orgánica del carbón activado con alto contenido de carbono, peso molecular grande, el área de superficie específica para cumplir con los requisitos de calidad de agua, cuando el agua fluye por el poro del carbón activado, diversas partículas en suspensión, la materia orgánica etc. Se adsorben en los poros del carbón activado bajo las fuerzas de Van der Waals; al mismo tiempo, el cloro (ácido hipocloroso) adsorbido sobre la superficie del carbón activado genera la reacción química en la superficie de carbono y se reduce en el cloruro, para eliminar efectivamente el cloruro, asegurando que el cloruro residual de salida de agua sea menor de 0.1ppm, y satisfaciendo las condiciones de funcionamiento de la membrana.

#### **3.1.3.5. INTERCAMBIADOR DE CATION H4201**

Es un intercambio de iones positivos desde un cuerpo a otro. Es un tipo de resina más utilizada para el tratamiento de agua, es la primera columna desionización en los minerales que contiene el agua, elimina los cationes del agua y para su regeneración es utilizado el ácido clorhídrico (HCl) concentrado. La presión de resistencia de la columna catiónica es de 0.4 MPa es importante controlar la presión a la que se trabaja.

#### **3.1.3.6. TANQUE DE AGUA INTERMEDIO T4204**

El tanque de agua intermedio se usa para amortiguar y almacenar el agua producida por el intercambiador de catión para almacenar el agua para la operación posterior del intercambiador de anión.

#### **3.1.3.7. QUITADOR DE DIÓXIDO DE CARBONO T4202**

El separador de dióxido de carbono es un equipo para eliminar una gran cantidad del CO<sub>2</sub> libre producido por la destrucción del bicarbonato en el agua en el proceso de ablandamiento y desmineralización del agua y después del intercambio de los iones de hidrógeno del agua cruda. Está equipado con el intercambiador de cationes (de hidrógeno) para reducir la carga intercambiada por anión, y mejorar la economía del sistema de procesamiento de agua y la calidad de agua de salida. Cuando el contenido del CO<sub>2</sub> es de 390 mg/l o inferior, cuando pasa por el separador de dióxido de carbono, el contenido de CO<sub>2</sub> de salida de agua puede reducir a unos 5mg/l.

#### **3.1.3.8. BOMBA DE AGUA INTERMEDIO P4204**

La bomba centrífuga horizontal de serie DFW con un caudal de 52 m<sup>3</sup>/h se aplica principalmente para la alimentación de agua a la columna de carbón activado, siendo esta la principal fuente de alimentación para la producción de agua desmineralizada, este tipo de bomba tiene ventajas como ruido bajo, el mantenimiento conveniente, la vibración pequeña etc.

#### **3.1.3.9. INTERCAMBIADOR DE ANIONES H4203**

El intercambiador de iones negativos (aniones) es un tipo de resina más utilizada para el tratamiento de agua es la segunda columna de desionización en los minerales que contiene el agua, elimina los aniones del agua y para su regeneración es utilizado hidróxido de sodio (NaOH) concentrado. La presión de resistencia de la columna catiónica es de 0.4 MPa es importante controlar la presión a la que se trabaja.

#### **3.1.3.10. INTERCAMBIADOR DE IÓN MIXTO H4205**

Un intercambiador de iones de lecho mixto es un recipiente lleno de una mezcla de resina de intercambio catiónico y resina de intercambio aniónico. Durante el servicio, el agua fluye a través de esta mezcla de resina. Los cationes disueltos en el agua se intercambian por iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>), mientras que los aniones disueltos en el agua se intercambian por iones de hidróxido (OH<sup>-</sup>). Los iones de hidrógeno y los iones de hidróxido reaccionan al agua.

El equipo, los cationes y aniones intercambian la resina, se mezcla plenamente en un intercambiador de iones, al mismo tiempo se intercambian los cationes y los aniones. Se

llama en breve la cama mixta. La cama mixta mezcla y carga la resina de intercambio de cationes y aniones de cierta proporción en un mismo dispositivo de intercambio para intercambiar y quitar los iones en el flujo. Debido a que la proporción de la resina de catión es mayor que la resina de anión, en la cama mixta, la resina de anión está por arriba y la resina de catión está por abajo. En general, la proporción de carga de la resina de catión y anión es de 1:2, o de 1:1, puede seleccionarla según el tipo de la resina.

#### **3.1.3.11. TANQUE DE DEPÓSITO DE ÁCIDO T4207**

El depósito de ácido se usa para almacenar la solución ácida para la regeneración del intercambiador de cationes, garantizar el suministro oportuno del ácido clorhídrico que tiene una concentración del 35 %, se encarga de satisfacer la necesidad de regeneración del sistema, para así tener un buen funcionamiento del intercambio catiónico. Tiene una capacidad de 10 m<sup>3</sup> y una presión de resistencia es de 0.1Mpa y la temperatura con la que se trabaja es la de temperatura ambiente

#### **3.1.3.12. TANQUE DE DEPÓSITO DE ÁLCALI T4206**

El depósito de álcali se usa para almacenar la solución de álcali para la regeneración del intercambiador de iones, garantizar el suministro oportuno de la solución de álcali, que tiene una concentración 40% se encarga de satisfacer la necesidad de regeneración del sistema de intercambio iónico, para tener un buen funcionamiento seguro y estable del intercambio iónico. Tiene una capacidad de 10 m<sup>3</sup> y una presión de resistencia es de 0.1Mpa y la temperatura con la que se trabaja es la de temperatura ambiente

#### **3.1.3.13. TANQUE DE DISOLUCIÓN DE SODA CÁUSTICA Z4201**

Tanque de dilución y mezcla de sosa cáustica se usa para mezclar y diluir la sosa cáustica y el agua para que se diluya plenamente llegando a una concentración de 40 %, garantizando el suministro de la solución alcalina y satisfaciendo la demanda para la regeneración del sistema de intercambio iónico.

#### **3.1.3.14. BOMBA DE TRANSPORTADOR DE ÁLCALI P4209**

La bomba magnética de serie CQB en general está compuesta por el motor eléctrico, el acoplador magnético y la bomba centrífuga resistente a corrosión. Su característica principal es la transmisión potencial con el acoplador magnético, y está libre de fuga,



tiene la función de hacer circular el agua o también enviar a otros sectores. Para ello, la bomba debe suministrar un caudal de agua cuya presión sea suficiente para vencer las resistencias a lo largo del circuito de distribución. La bomba que se está utilizando para la transportación de álcali (NaOH) tiene un caudal de 32 m<sup>3</sup>/h y una eficiencia de 30 % el equipo es ideal para transportar diversos líquidos corrosivos.

#### **3.1.3.15. BOMBA DE TRANSPORTADOR DE ÁCIDO CLORHÍDRICO P4207**

La bomba magnética de serie CQB en general está compuesta por el motor eléctrico, el acoplador magnético y la bomba centrífuga resistente a corrosión. Su característica principal es la transmisión potencial con el acoplador magnético, y está libre de fuga, tiene la función de hacer circular el agua o también enviar a otros sectores. La bomba que se está utilizando para la transportación de ácido clorhídrico (HCl) tiene un caudal de 32 m<sup>3</sup>/h y una eficiencia de 30 % el equipo es ideal para transportar diversos líquidos corrosivos.

#### **3.1.3.16. TANQUE DE AGUA DESMINERALIZADA T4211**

El tanque de agua desmineralizada tiene una capacidad de 1000 m<sup>3</sup>, es un tipo de recipiente atmosférico, que consta de la placa base, paneles de yeso y la placa superior. El tanque de almacenamiento está equipado con tubería de alimentación interior y el cuerpo de la carcasa es de construcción de acero al carbono. La parte inferior y superior, respectivamente, se proveen con una boca de inspección. La parte inferior está equipada con una toma de corriente de descarga de agua, que se utiliza para drenar el agua durante la limpieza del tanque de almacenamiento.. El medidor de nivel de líquido está instalado en el lado del tanque para controlar el nivel del líquido. Este tanque de almacenamiento tiene un montaje de tipo vertical, y se utiliza principalmente para almacenar agua desmineralizada durante la producción.

#### **3.1.3.17. BOMBA DE SALINA DE AGUA DESMINERALIZADA P4211 Y P4206**

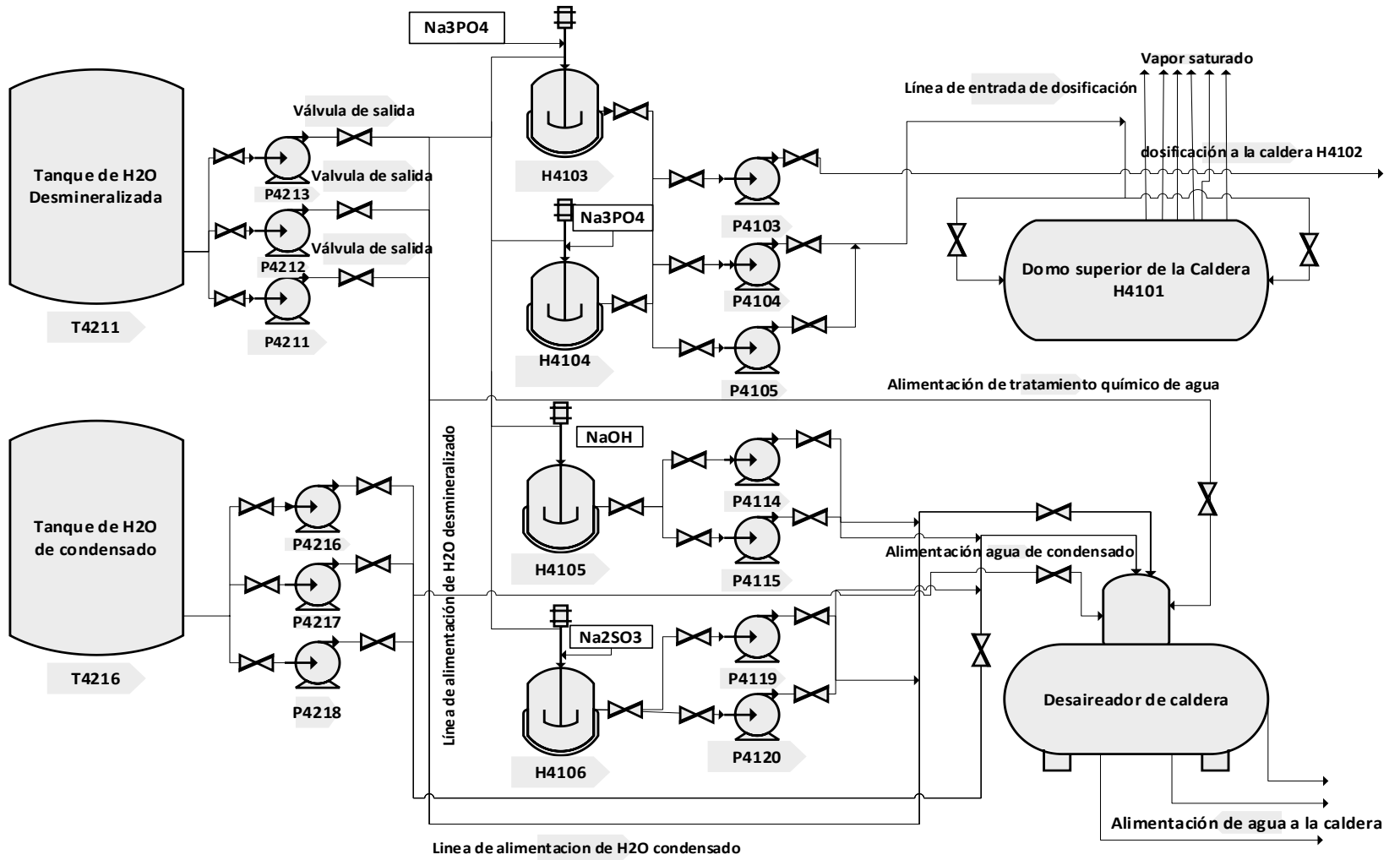
La bomba química de serie DFWH es el producto actualizado de ahorro de energía y de nueva generación por el motor eléctrico, el acoplador la bomba centrífuga resistente. El

trabajo que realiza la bomba es de enviar agua desmineralizada al área de caldera, el caudal de salida es de 45 m<sup>3</sup>/ h el equipo es ideal para la distribución de agua. El material se aplica el acero inoxidable de calidad resistente a la corrosión con una vida útil larga.

#### **3.1.4. DIAGRAMA DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS A LA CALDERA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA (EASBA)**

Este diagrama detalla de manera esquemática el proceso de dosificación de productos químicos a la caldera, desde la preparación a diferentes concentraciones hasta la dosificación a los equipos de la caldera de la Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA)

## SISTEMA DE DOSIFICACION A LA CALDERA



### **3.1.5. EQUIPOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN A LA CALDERA**

- (1) TANQUE DE AGUA DESMINERALIZADA T4211
- (2) BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA P4211, P4212 P4213
- (3) TANQUE DEL CONDENSADO T4216
- (4) BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CONDENSADA P4216, P4217 Y P4218
- (5) TANQUE I DE DISOLUCIÓN DEL FOSFATO DE SODIO H4103
- (6) TANQUE II DE DISOLUCIÓN DEL FOSFATO DE SODIO H4104
- (7) BOMBA DOSIFICADORA P4103, P4104, P4105
- (8) DOMO DE LA CALDERA H4101
- (9) TANQUE DE DISOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO H4105
- (10) BOMBA DOSIFICADORA P4114 Y P4115
- (11) TANQUE DE DISOLUCIÓN DEL SULFITO DE SODIO H4106
- (12) BOMBA DOSIFICADORA P4119 Y P4120
- (13) DESAIREADOR DE LA CALDERA

#### **3.1.5.1. TANQUE DE AGUA DESMINERALIZADA T4211**

El tanque de agua desmineralizada tiene una capacidad de 1000 m<sup>3</sup>, es un tipo de recipiente atmosférico, que consta de la placa base, paneles de yeso y la placa superior. El tanque de almacenamiento está equipado con tubería de alimentación interior y el cuerpo de la carcasa es de construcción de acero al carbono. La parte inferior y superior, respectivamente, se proveen con una boca de inspección. La parte inferior está equipada con una toma de corriente de descarga de agua, que se utiliza para drenar el agua durante la limpieza del tanque de almacenamiento. El medidor de nivel de líquido está instalado en el lado del tanque para controlar el nivel del líquido. Este tanque de almacenamiento tiene un montaje de tipo vertical, y se utiliza principalmente para almacenar agua desmineralizada durante la producción.

#### **3.1.5.2. BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA P4211, P4212 y P4213**

La bomba química de serie DFWH es el producto actualizado de ahorro de energía y de nueva generación por el motor eléctrico, el acoplador, la bomba centrífuga resistente. El trabajo que realiza la bomba es de enviar agua desmineralizada al área de caldera, el caudal de salida es de 45 m<sup>3</sup>/ h el equipo es ideal para la distribución de agua. El material se aplica el acero inoxidable de calidad resistente a la corrosión con una vida útil larga.

#### **3.1.5.3. TANQUE DEL CONDENSADO T4216**

Tanque del condensado de segundo efecto deposita el agua del tanque de almacenamiento de agua de alta temperatura. Utilizando el calor transportado por el vapor, el calor de vapor se reduce, se condensa en agua, después del tratamiento, devuelve el depósito de agua. Volver a la caldera se calienta en vapor, se usa reciclado.

#### **3.1.5.4. BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CONDENSADA P4216, P4217 y P4218**

La bomba química de serie DFWH es el producto actualizado de ahorro de energía y de nueva generación por el motor eléctrico, el acoplador la bomba centrífuga resistente. El trabajo que realiza la bomba es de enviar agua condensada a caldera el caudal de salida

es de 45 m<sup>3</sup>/ h el equipo es ideal para la distribución de agua. El material se aplica el acero inoxidable de calidad resistente a la corrosión con una vida útil larga.

#### **3.1.5.5. TANQUE I Y II DE DILUCIÓN PARA DOSIFICACIÓN H4103 Y H4104**

Este tanque nos ayuda realizar la dilución de los productos químicos para la dosificación a la caldera, tiene una capacidad de 1000 litros para su preparación es importante utilizar agua desmineralizada, para la dosificación de los productos químicos es necesario que el tanque este a su capacidad máxima de la dilución preparada

#### **3.1.5.6. BOMBA DOSIFICADORA P4103, P4104 y P4105**

Son llamadas bombas de diafragma en teflón que también está compuesta con un pistón de alta eficiencia y de diafragma de desplazamiento positivo, brinda un mayor tiempo y funcionamiento, rendimiento y precisión, son ideales para cubrir los requerimientos específicos que son exigidos. Las bombas están situadas en el nivel cero del área de caldera, tiene un caudal hasta de 200 l/h dependiendo a la presión, estas bombas son controladas mediante el operador de campo o de DCS (sistema de control distribuido)

#### **3.1.5.7. DOMO DE LA CALDERA H4101**

El domo es una de las partes fundamentales de la caldera, se encarga de separar la mezcla agua/vapor dejando exclusivamente el vapor, proveer el espacio físico para alojar todos los elementos de separación necesaria, a fin de garantizar la correcta separación de las partículas de agua y sólidos en suspensión, es muy importante controlar el nivel de operación del domo ya que mantiene una carga de vapor constante.

#### **3.1.5.8. TANQUE DE DISOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO H4105**

En este tanque se prepara la dilución de hidróxido de sodio que tiene una concentración del 25 % que posteriormente va a ser dosificada según el requerimiento del agua de alimentación a la caldera, este producto químico se lo utiliza para poder ajustar el pH del agua de alimentación y también mejorar la alcalinidad. Es muy importante realizar una limpieza al tanque antes de realizar la dilución, ya que puede arrastrar impurezas o también dañar las líneas de dosificación.

### **3.1.5.9. BOMBA DOSIFICADORA P4114 Y P4115**

Son llamadas bombas de diafragma en teflón que también está compuesta con un pistón de alta eficiencia y de diafragma de desplazamiento positivo, brinda un mayor tiempo y funcionamiento, rendimiento y precisión, son ideales para cubrir los requerimientos específicos que son exigidos. Las bobas están situadas en el nivel cero del área de caldera, tiene un caudal hasta de 200 l/h dependiendo a la presión, estas bombas son controladas mediante el operador de campo o de DCS (sistema de control distribuido)

### **3.1.5.10. TANQUE DE DISOLUCIÓN DEL SULFITO DE SODIO H4106**

En este tanque se prepara la dilución de sulfito de sodio para posteriormente dosificar a la caldera, es muy importante realizar la correcta dilución ya que es un producto químico que tiene la respectiva función de secuestrar el oxígeno del agua la concentración que se debe de alcanzar es de 25 % para que realice una buena reacción en el agua, es muy importante que antes de preparar dicho solución se debe de realizar una limpieza al tanque para que no arrastre impurezas a la hora de realizar la dosificación.

### **3.1.5.11. BOMBA DOSIFICADORA P4119 Y P4120**

Son llamadas bombas de diafragma en teflón que también está compuesta con un pistón de alta eficiencia y de diafragma de desplazamiento positivo, brinda un mayor tiempo y funcionamiento, rendimiento y precisión son ideales para cubrir los requerimientos específicos que son exigidos. Las bobas están situadas en el nivel cero del área de caldera tiene un caudal hasta de 200 l/h dependiendo a la presión estas bombas son controladas mediante el operador de campo o de DCS (sistema de control distribuido)

### **3.1.5.12. DESAIREADOR DE LA CALDERA**

Este sistema nos permite eliminar principalmente el oxígeno y el dióxido de carbono del agua que causan graves daños por corrosiones e incrustaciones a las paredes. Nos permite aumentar la temperatura de ingreso del agua de alimentación a la caldera, eliminando el choque térmico dentro de la caldera, mejorando de esta manera la eficiencia

### 3.2. CÁLCULOS Y DETERMINACIONES

En esta parte se describirán el método del contralavado del carbón activado y las regeneraciones de las resinas catiónicas aniónicas de los respectivos métodos para la buena producción de agua blanda o desmineralizada

**Tabla 3:** Orden de selectividad decreciente de los iones en resinas de intercambio iónico, a igual concentración de la especie en solución.

CATION	ANION
Fierro $Fe^{+3}$	Cromato $CrO_4^{-2}$
Aluminio $Al^{+3}$	Sulfato $SO_4^{-2}$
Plomo $Pb^{+2}$	Sulfito $SO_3^{-2}$
Bario $Ba^{+2}$	$HPO_4^{-2}$
Estroncio $Sr^{+2}$	$CNS^{-}$
Cadmio $Cd^{+2}$	$CNO^{-}$
Níquel $Ni^{+2}$	Nitrato $NO_3^{-}$
Zinc $Zn^{+2}$	Nitrito $NO_2^{-}$
Cobre $Cu^{+2}$	Yoduro I
Fierro $Fe^{+2}$	Bromuro $Br^{-}$
Manganeso $Mn^{+2}$	Cloruro $Cl^{-}$
Calcio $Ca^{+2}$	Cianuro $CN^{-}$
Magnesio $Mg^{+2}$	Bicarbonato $HCO_3^{-}$
Potasio $K^{+}$	$HSiO_3^{-}$
Amonio $NH^{+}$	Hidróxido $OH^{-}$
Sodio $Na^{+}$	Fluoruro $F^{-}$
Hidrógeno $H^{+}$	
Litio $Li^{+}$	

Fuente: por AF Cirelli · 2012 ·

#### 3.2.1. DETERMINACIONES DE TIEMPOS DE CONTRALAVADO Y REGENERACIÓN DE RESINAS ANIÓNICAS Y CATIONICAS

Determinar el tiempo de contra lavado y regeneraciones del carbón activado y las resinas empleando reactivos químicos con su respectiva concentración para la buena producción de agua desmineralizada



### 3.2.1.1. PARA QUE SE REALIZA EL CONTRALAVADO

El contra lavado se efectúa en una dirección inversa a la del flujo de servicio. El contra lavado se hace para vencer la compactación del lecho y aflojar partículas incrustadas, para posteriormente reclasificar las partículas y liberar mediante purgas de aire y mandar al canal.

### 3.2.1.2. COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO

El filtro de carbón activado sirve principalmente para eliminar las moléculas orgánicas, el óxido de hierro, el cloro residual. Dado que la materia orgánica, el cloro residual y el óxido de hierro causan fácilmente el envenenamiento de resina de intercambiador iónico

### 3.2.1.3. PROCESO DEL CONTRALAVADO DEL CARBÓN ACTIVADO

Etapa	Descripción	Tiempo	Filtro De Carbón Activado
1	Contralavado de alta presión	30 min	Eliminar las moléculas orgánicas Elimina moléculas inorgánicas, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> . Evita el envenenamiento de resina
2	Lavado grande	15 min	
3	Purga con aire	3 min	

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2. REGENERACIÓN DE RESINAS CATIONICAS

En esta columna son utilizadas resinas de intercambio del catión para realizar su limpieza y su regeneración se utiliza un reactivo químico muy importante que es el ácido (HCl) con una concentración del 36 % para tener un mejor rendimiento en la columna.

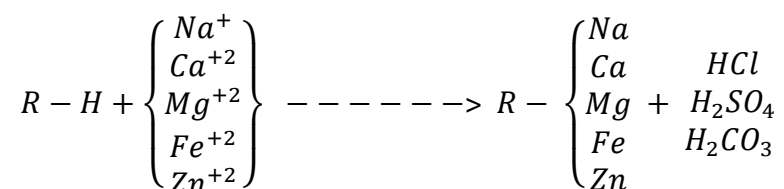
Etapa	Descripción	Tiempo	Resinas catiónicas
1	Preparar el ácido clorhídrico (HCl) para la regeneración		Para su limpieza y su regeneración se utiliza el ácido clorhídrico (HCl) Elimina la dureza de agua, eliminando el Ca y Mg Elimina el dióxido de carbono CO <sub>2</sub>
2	Control de la presión y tiempo del proceso		
3	Contra lavado parcial	20 min	
4	Contra lavado total	15 min	
5	Tiempo de drenaje	5 min	
6	Pre inyectado	1 min	
7	Entrada de ácido clorhídrico	45 min	
8	Tiempo de lavado	45 min	

<b>9</b>	Lavado grande	15 min	
<b>10</b>	Termino de lavado	2 min	

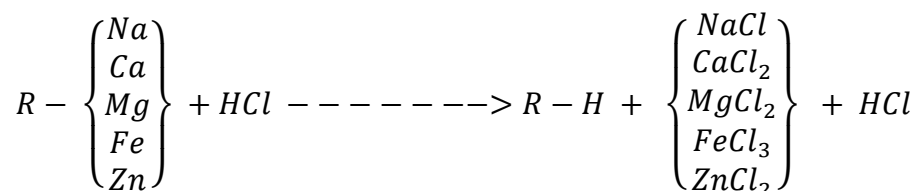
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.2.1. MECANISMO DE REACCIÓN QUÍMICA

a) RESINA CATIONICA FUERTE:



b) REGENERACIÓN



### 3.2.3. REGENERACIÓN DE RESINAS ANIÓNICAS

En esta columna es utilizada resinas aniónicas para realizar su limpieza y su regeneración se utiliza otro reactivo químico muy importante que es el hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración del 30 % para tener un mejor rendimiento en la columna.

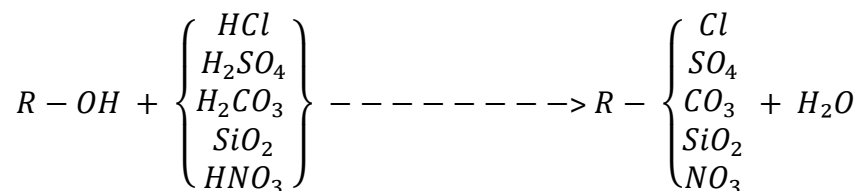
<b>Etap</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiemp</b> <b>o</b>	<b>Resinas catiónicas</b>
<b>1</b>	Preparar hidróxido de sodio (NaOH) disuelto para la regeneración		Elimina principalmente la dureza también a todos los aniones como ser carbonatos,
<b>2</b>	Control de la presión y tiempo del proceso		
<b>3</b>	Contra lavado parcial	20 min	
<b>4</b>	Contra lavado total	15 min	
<b>5</b>	Tiempo de drenaje	5 min	
<b>6</b>	Pre inyectado	1 min	

<b>7</b>	Entrada de ácido clorhídrico	45 min	silicatos, sulfatos  nitratos y cloruros  ( $NO_3^{-1}$ , $ClO^-$ , $CO_3^{-2}$ $PO_4^{-3}$ )
<b>8</b>	Tiempo de lavado	45 min	
<b>9</b>	Lavado grande	15 min	
<b>10</b>	Termino de lavado	2 min	

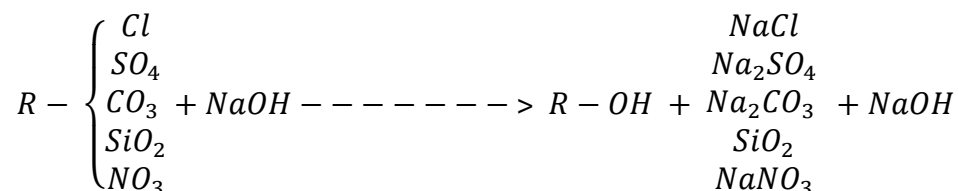
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3.1.MECANISMO DE REACCIÓN QUÍMICA

#### a) RESINA ANICÓNICA FUERTE:



#### b) REGENERACIÓN



### 3.2.4. REGENERACIÓN DE LA COLUMNA MIXTA

Al aumentar la vida útil, las resinas de intercambio iónico se agotan. Las resinas de lecho mixto agotadas se regeneran, generalmente con ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH). Con cada regeneración, se producen aguas residuales potencialmente ácidas o alcalinas, que pueden necesitar neutralizarse.

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Columna Mixta</b>
<b>1</b>	Preparar hidróxido de sodio (NaOH) al 25%, y ácido clorhídrico (HCl) al 36 %		Por lo general, un intercambiador de
<b>2</b>	Controlar presión y tiempo de regeneración		

3	Contra lavado	20 min	iones de lecho mixto se utiliza como último paso de pulido aguas abajo de otro proceso de desmineralización, o como lecho mixto de trabajo para la desmineralización de agua ya parcialmente desmineralizada o con bajo contenido de TDS (por ejemplo, Condensado).
4	Drenaje	10 min	
5	Desactivación	15 min	
6	Separación	20 min	
7	Reposo	10 min	
8	Drenaje	5 min	
9	Regeneración	30 min	
10	Lavado	30 min	
11	Llenado	2 min	
12	lavado	15 min	
13	Lavado línea	12 min	
14	Drenaje	5 min	
15	Mezcla	15 min	
16	Asentamiento	3 min	
16	Llenado	5 min	
17	Lavado	15 min	
18	Terminado	2 min	

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.4.1. RESULTADO FINAL EN UN PROCESO DE INTERCAMBIO EN RESINAS CATIONICAS Y ANIONICAS

Las resinas catiónicas y aniónicas se encarga de disminuir las especies químicas que se encuentran en solución en el agua a tratar, y la formación de iones hidrógeno e hidróxido, los cuales reaccionan inmediatamente para producir agua.



### 3.2.5. PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA

Una vez que se concluye con la regeneración de todas las columnas, se procede a la producción de agua desmineralizada con un caudal de 40 m<sup>3</sup>/h y llegando a producir aproximadamente 132 m<sup>3</sup> de agua desmineralizada por día.

### 3.2.5.1. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA

Parámetros de control que se lo realiza al agua desmineralizada para caldera.

**TABLA 5: PARÁMETROS DE CONTROL DEL AGUA DESMINERALIZADA**

<b>PARÁMETROS AGUA DE CALDERA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>pH del agua</b>		8.8 a 9.3
<b>Dureza</b>	ppm	0
<b>Conductividad</b>	$\mu\text{S}/\text{cm}^2$	$\leq 5$
<b>Alcalinidad total</b>	ppm	$< 25$
<b>Hierro</b>	ppm	$< 0.5$
<b>Sílice</b>	ppm	$< 0.5$
<b>Sulfito</b>	ppm	$> 5$

**Fuente:** Elaboración propia

Como se pudo observar en la Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA) contamos con un área de tratamientos químicos de agua donde podemos generar nuestra propia agua desmineralizada cumpliendo con los parámetros de calidad del agua establecida por norma para la alimentación a caldera.

### 3.3. DETERMINACIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN A LA CALDERA

Generalmente la presencia de incrustación en calderas de alta presión se debe a tres causas. Mal acondicionamiento del agua de alimentación. Mal acondicionamiento del tratamiento químico aplicado. Sobre concentración del agua de la caldera al no respetar los Rangos de Control establecidos. La presencia de incrustación o depósitos, interfieren en la transferencia de calor, ocasionando, entre otras consecuencias, incremento en el consumo de combustible, sobre calentamiento de los tubos de evaporación.

### **3.3.1. TRATAMIENTO CORRECTIVO A LA DOSIFICACIÓN PARA LA CALDERA**

En esta parte se encontrará una corrección para mejorar la dosificación de productos químicos a la caldera acuotubular, para no tener problemas de corrosión e incrustaciones en las tuberías de la caldera.

### **3.3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS**

Cada producto químico está direccionada para una respectiva función, es necesario saber el aporte que nos da para la producción de vapor

#### **3.3.2.1. WETBOIL 135 DISPERSANTE DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL**

Es un producto formulado con la más avanzada tecnología de copolímeros acrílicos de alto peso molecular para uso como dispersante de agua en circuitos industriales. Es especialmente efectivo para usos en sistemas de generación de vapor para dispersar contaminantes minerales y/o orgánicos comúnmente encontrados en aguas industriales.

#### **BENEFICIOS**

- ✓ Prevención de la formación de depósitos e incrustaciones.
- ✓ Alta eficiencia incluso a altas temperaturas
- ✓ Eficaz para la dispersión de calcio, magnesio, hierro, etc.
- ✓ Aumento de la vida útil de los equipos.
- ✓ Compatible con inhibidores de corrosión y secuestrante de oxígeno.

#### **3.3.2.2. PROPIEDADES GENERALES**

<b>Aspecto</b>	Líquido ámbar a café
pH	11 -14
Densidad (g/ml)	1.015 - 1.15
Solubilidad en agua, (%)	100

**Fuente:** Wetboil

#### **3.3.2.3. WETBOIL 402 AGENTE NEUTRALIZADOR**

Este producto está recomendado para controlar los fenómenos de corrosión que se producen en las líneas de vapor y condensado, producto de la formación de ácido

carbónico proveniente de la descomposición térmica de carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de alimentación a calderas.

Su formulación basada en compuestos de aminas, permite neutralizar el ácido carbónico, evitando así la disminución de pH y el consecuente desgaste de las líneas de vapor y condensado.

### **BENEFICIOS**

- ✓ Prevención de la corrosión en líneas de vapor y condensado.
- ✓ Aumenta la de vida útil de líneas y de la caldera.
- ✓ Evita aporte de hierro a la caldera. Menor ensuciamiento.
- ✓ Facilidad de aplicación y control.
- ✓ El producto puede utilizarse en calderas de baja y alta a presión

### **3.3.2.4. PROPIEDADES GENERALES**

<b>Aspecto</b>	<b>Líquido</b>
Color	Incoloro a Amarillo
Densidad a 21°C, (g/cm <sup>3</sup> )	1.00 – 1.05
pH (Solución original)	11.5 – 13.0
Solubilidad en agua, %	100

**Fuente:** Wetboil

### **3.3.2.5.WETBOIL 801 ANTIESPUMANTE**

Es un producto formulado con la más avanzada tecnología en tenso activos solubles en agua. El producto previene la formación de micro burbujas en la interface líquido-vapor consiguiéndose así un control eficaz de la formación de espuma.

La presencia de espuma en el agua de la caldera es la causa principal del arrastre de sólidos al vapor, lo que impide la generación de un vapor de buena calidad y de máxima eficacia en la transferencia térmica.

### **BENEFICIOS**

- ✓ Obtención de un vapor de alta calidad.
- ✓ Logro de la máxima velocidad de transferencia térmica al inicio de los procesos de calentamiento.

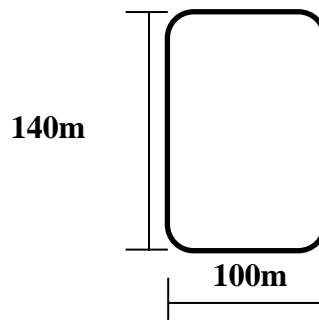
- ✓ Facilidad de aplicación y control.

### 3.3.2.6. PROPIEDADES GENERALES

Aspecto	Líquido
Color	Incoloro a leve amarillo
Densidad a 21°C, (g/cm <sup>3</sup> )	Máx. 1.04
pH (Solución original)	7 – 8
Solubilidad en agua, %	100

Fuente: Wetboil

### 3.3.2.7. CALCULANDO EL CAUDAL DE LA DOSIFICACIÓN



- ❖ Convertir cm a m

$$50\text{cm} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} = 0.5\text{ m}$$

- ❖ Calculando el volumen

$$V = \pi * r * h$$

$$V = 3.14 * (0.5)^2 * (1.4)$$

$$V = 3.14 * (0.25) * (1.4)$$

$$V = 1.099\text{ m}^3$$

Convertir de  $\text{m}^3$  a litros

$$1.099\text{m}^3 * \frac{1000\text{ l}}{1\text{m}^3} = 1000\text{ litros}$$



### Calculando el caudal de la dosificación

Consumo por hora de la dosificación de productos químicos:

N°	Tiempo	Datos cm
1	1:03 h	3,54 cm
2	1:05 h	3,53 cm
3	1:02 h	3,51 cm
4	1:03 h	3,54 cm
5	1:05 h	3,53 cm
6	1:06 h	3,53cm
7	1:03 h	3.52 cm
<b>Promedio final</b>		<b>3.545</b>

Convertir de cm a m

$$3.535 \text{ cm} * \frac{1\text{m}}{100 \text{ cm}} = 0.03535 \text{ m}$$

$$V = \pi * r * h$$

$$V = 3.14 * (0.5)^2 * (0.03535)$$

$$V = 3.14 * (0.25) * (0.03535)$$

$$V = 0.02774 \text{ m}^3$$

Convertir  $\text{m}^3$  a l

$$V = 0.02774 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ l}}{1\text{m}^3} = 27.74 \text{ l}$$

$$V = 27.74 \text{ l}$$

Hallando el caudal:

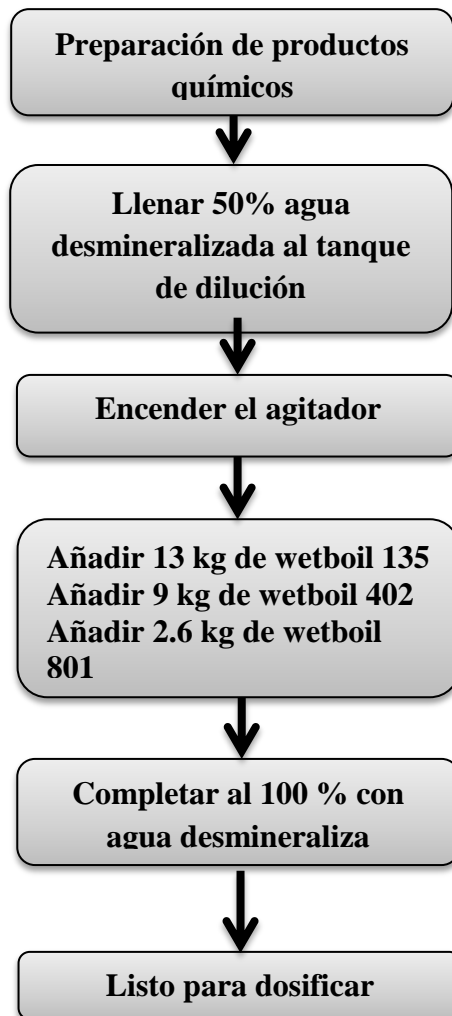
$$Q = 27.74 \text{ l/h}$$

La dosificación se efectúa a través de una bomba dosificadora, donde el caudal de ingreso de productos químicos requeridos para la caldera se halló mediante cálculo y el dato obtenido es de 27.74 l/h este valor hallado se corroboró mediante análisis de

laboratorio efectuado a las muestras de agua de alimentación donde los parámetros se mantienen en el rango requerido, el tiempo que dura la dosificación con el caudal hallado es de 36 horas es decir que un tanque de 1000 litros con productos químicos dura 36 horas aproximadamente.

### **3.3.2.8. DIAGRAMA DE FLUJO**

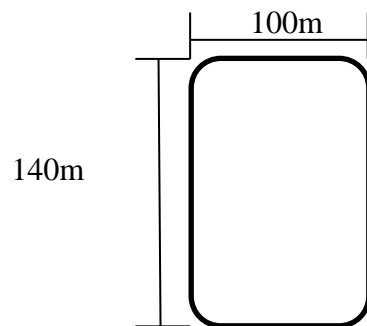
En este diagrama de se muestra los pasos a seguir para la preparación de los productos químicos para la dosificación a la caldera:





cantidad requerida para integrar el residual de sulfito que se recomienda mantener en el agua de la caldera. Pero debido a que el sulfito no es 100% puro y por demás errores de cálculo es recomendable usar 10 ppm de NaSO<sub>3</sub> por 1 ppm de O<sub>2</sub>.

### 3.3.2.12. CALCULANDO EL CAUDAL DE LA DOSIFICACIÓN DEL SULFITO DE SODIO



❖ Convertir cm a m

$$50\text{cm} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} = 0.5\text{ m}$$

❖ Calculando el volumen

$$V = \pi * r * h$$

$$V = 3.14 * (0.5)^2 * (1.4)$$

$$V = 3.14 * (0.25) * (1.4)$$

$$V = 1.099\text{ m}^3$$

Convertir de  $\text{m}^3$  a litros

$$1.099\text{m}^3 * \frac{1000\text{ l}}{1\text{m}^3} = 1000\text{l}$$

capacidad del tanque  $V = 1000$  litros

### Calculando el caudal de la dosificación

N°	Tiempo	Datos cm
1	1:04 h	2.65
2	1:06 h	2.66
3	1:05 h	2.65
4	1:03 h	2.67
5	1:04 h	2.66
6	1:06 h	2.65
7	1:05 h	2.67
<b>Promedio final</b>		<b>2.650</b>

### Convertir de cm a m

$$2.650 \text{ cm} * \frac{1m}{100 \text{ cm}} = 0.0265 \text{ m}$$

$$V = \pi * r * h$$

$$V = 3.14 * (0.5)^2 * (0.0265)$$

$$V = 3.14 * (0.25) * (0.0265)$$

$$V = 0.02080 \text{ m}^3$$

### Convertir $m^3$ a litros

$$V = 0.02080 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ l}}{1m^3} = 20.80 \text{ l}$$

$$V = 20.80 \text{ litros}$$

### Hallando el caudal

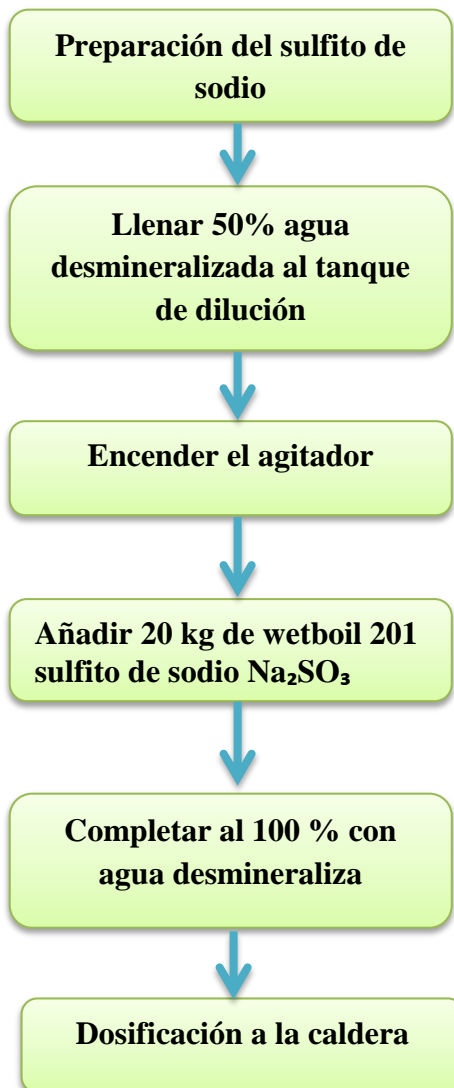
$$Q = 20.80 \text{ l/h}$$

La dosificación del sulfito de sodio se efectúa a través de una bomba dosificadora, donde el caudal requerido se halló mediante cálculo y el dato obtenido es de 20.80 l/h este valor hallado se corroboró mediante análisis de laboratorio efectuado a las muestras de

agua del domo de la caldera donde los parámetros se mantienen en el rango requerido, el tiempo que dura la dosificación del sulfito de sodio con el caudal hallado es de 48 horas es decir que un tanque de 1000 litros con la solución del sulfito de sodio dura 48 horas aproximadamente.

### 3.3.2.13. DIAGRAMA DE FLUJO

En esta parte se explicara los pasos a seguir para preparar el sulfito de sodio:



### 3.3.2.14. **HIDRÓXIDO DE SODIO**

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50% por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiendo calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Se obtiene, principalmente por electrolisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

#### **BENEFICIOS**

- ✓ Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa
- ✓ También se realizan jabones y productos de limpieza
- ✓ Es considerado uno de los álcalis más fuertes

### 3.3.2.15. **PROPIEDADES GENERALES**

<b>Aspecto</b>	Sólido
<b>Color</b>	Blanco
<b>Densidad a 25°C, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.13
<b>Punto De Fusión</b>	318.4 °C
<b>Solubilidad en agua, %</b>	100

**Fuente:** Wetboil

### 3.3.2.16. **Hallando el caudal de la dosificación de hidróxido de sodio**

Volumen del tanque de disolución

$$V = 1.099 \text{ m}^3$$

Calculando el caudal de la dosificación

La dosificación del hidróxido de sodio a la caldera se lo realiza solo cuando es necesario, es utilizado para acondicionar pH como también la alcalinidad del agua de alimentación.

<b>N°</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Datos cm</b>
1	1:04 h	3.65
2	1:06 h	3.66
3	1:05 h	3.65
4	1:03 h	3.67
5	1:04 h	3.66
6	1:06 h	3.65
<b>Promedio final</b>		<b>3.656</b>

**Convertir de cm a m**

$$3.656 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.03656 \text{ m}$$

$$V = \pi * r * h$$

$$V = 3.14 * (0.5)^2 * (0.03656)$$

$$V = 3.14 * (0.25) * (0.03656)$$

$$V = 0.02869 \text{ m}^3$$

**Convertir  $\text{m}^3$  a l**

$$V = 0.02869 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 28.69 \text{ l}$$

$$V = 28.69 \text{ litros}$$

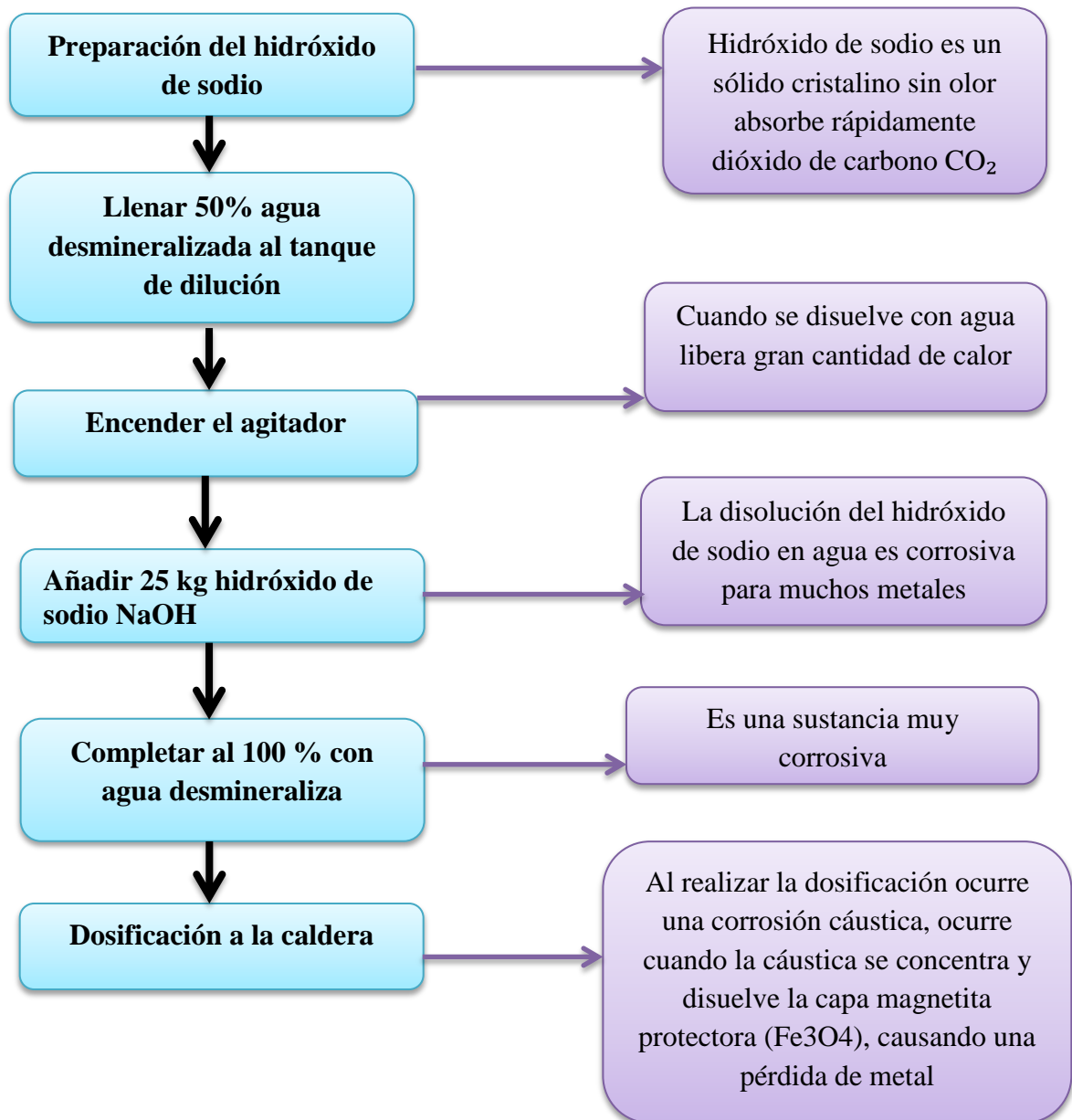
**Hallando el caudal**

$$Q = 28.69 \text{ l/h}$$



### 3.3.2.17. DIAGRAMA DE FLUJO MOSTRANDO EL DAÑO CAUSADO POR EL HIDRÓXIDO DE SODIO

A continuación daremos a conocer el daño que causa al utilizar hidróxido de sodio diluido para la dosificación a la caldera.



### **3.3.2.18. DAÑO CAUSADO POR EL HIDRÓXIDO DE SODIO**

El daño que ocasiona el uso del hidróxido de sodio es llamada corrosión cáustica es un tipo de corrosión que ocurre en los equipos metálicos como ser en las calderas, en ciertas condiciones ambientales de operación que tienen un nivel de agua de pH alto, lo que da como resultado un medio de operación altamente alcalinizado (es decir, una alta concentración de hidróxido de sodio (NaOH), también conocida como soda cáustica).

**La corrosión cáustica también se conoce como agrietamiento cáustico o fragilización cáustica.**

Cuando las calderas funcionan, la temperatura aumenta y causa tensión de fabricación alrededor de los orificios de los remaches, lo que eventualmente provoca grietas en las carcasas de acero de la caldera y las placas de los tubos cerca de las partes débiles del metal. El agua alcalina entra por diminutos orificios y se agrieta por capilaridad en el interior de la caldera. Luego, el agua se difunde por las grietas, dejando sales de hidróxido que se acumulan cuando se evapora más agua. Estos restos de sales de hidróxido de sodio o sosa cáustica reaccionan y disuelven la capa protectora de magnetita ( $Fe_3O_4$ ), eventualmente provocando una mayor pérdida de metal desde el interior de la carcasa de la caldera y finalmente la falla del equipo.

### **3.3.2.19. UNA ALTERNATIVA PARA CORREGIR EL pH DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA**

Este producto químico llamado fosfato de sodio es efectivo para usos en sistemas de generación de vapor para dispersar contaminantes minerales y/o orgánicos comúnmente encontrados en aguas industriales. Es recomendable usar el fosfato de sodio para ajustes de pH, ya que no es agresivo y no daña las tuberías internas de la caldera, entre sus beneficios tenemos:

- Prevención de la formación de depósitos e incrustaciones.
- Alta eficiencia incluso a altas temperaturas
- Condiciones del pH 11 – 14

- Eficaz para la dispersión de calcio, magnesio, hierro, etc.

### 3.3.3. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL ANÁLISIS CUALITATIVO.

Para realizar los análisis de agua de alimentación y del agua interna de la caldera, se utilizaron equipos digitales de medición y también método volumétrico para los análisis cuantitativos, los cuales detallamos a continuación.

### 3.3.4. MEDICIÓN DE pH

Se utilizó un medidor digital calibrado con soluciones buffer previamente antes de realizar las mediciones, de las siguientes características:

**TABLA 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL pHmetro**

MARCA	INESA
RANGO	0 – 14
RESOLUCIÓN	0,01
PRECISIÓN	+/- 2% FULL ESCALE
CALIBRACIÓN	3 PUNTOS (4 – 7 – 10)
COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA	AUTOMÁTICA DE 5 A 50 °C
TIPO DE VISUALIZACIÓN	DIGITAL
LUZ DE FONDO	SI

**Fuente:** Equipo INESA

### 3.3.5. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

Se utilizó un medidor digital calibrado con soluciones estándar previamente antes de realizar las mediciones, de las siguientes características:

**TABLA 5: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTIMETRO**

MARCA	HANNA
MODELO	edge
RANGO DE MEDICIÓN: CONDUCTIVIDAD:  TEMPERATURA:	0 – 19,99 $\mu\text{s/cm}$ ; 20 – 199,9 $\mu\text{s/cm}$ ; 200 – 1999 $\mu\text{s/cm}$ ; 2 – 19,99 $\text{ms/cm}$ ; 20 – 199,9 $\text{ms/cm}$ ; -10 a 105 °C
RESOLUCIÓN: CONDUCTIVIDAD: 0 – 19,99 $\mu\text{s/cm}$ ;  20 – 199,9 $\mu\text{s/cm}$ ;  200 – 1999 $\mu\text{s/cm}$ ;  2 – 19,99 $\text{ms/cm}$ ;  20 – 199,9 $\text{ms/cm}$ ;	0,01 $\mu\text{s/cm}$  0,1 $\mu\text{s/cm}$  1 $\mu\text{s/cm}$  0,01 $\text{ms/cm}$  0,1 $\text{ms/cm}$
PRECISIÓN: CONDUCTIVIDAD: TEMPERATURA: CALIBRACIÓN	$\pm 0,5 \%$ del rango AUTOMÁTICA DE 0 A 50 °C AUTOMÁTICA CON SOLUCIÓN ESTÁNDAR

**Fuente:** edge-HANNA instruments

### 3.3.6. MEDICIÓN DE DUREZA

La determinación analítica de la dureza total se lo realiza mediante análisis donde veremos las siguientes características:

**TABLA 6: ANÁLISIS DE DUREZA**

MARCA	ALEMANA
MÉTODO	VOLUMÉTRICO
RANGO	< 0-1 ppm CaCO <sub>3</sub>
PRECISIÓN	+/- 1% FULL ESCALE
REACTIVOS	SOLUCIÓN DE EDTA (ESTANDARIZADA) SOLUCIÓN DE CLORURO DE AMONIO Y AMONIACO INDICADOR DE FERROCROMO NEGRO T
PROCEDIMIENTO	Medir 100ml de muestra de agua con la probeta y colocar el matraz Erlenmeyer de 250 ml añadir 5ml de solución tampón de cloruro de amonio y amoniaco añadir también 2 gotas de indicador de ericromo negro T posteriormente titular con solución de EDTA.
FORMULA DEL CALCULO	$X = \frac{100000 * M * V_1}{V_e}$ <p>X = determinación de dureza (ppm)  M = concentración de titilante(mol/L)  V<sub>e</sub> = volumen de la muestra (ml)  V<sub>1</sub> =volumen gastado de EDTA(ml)</p>

Fuente: LABORATORIO CENTRAL

### 3.3.7. MEDICIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL

La determinación analítica de la alcalinidad total se lo realiza mediante análisis donde veremos las siguientes características:

**TABLA 7: ANÁLISIS DE ALCALINIDAD**

MARCA	ALEMANA
MÉTODO	VOLUMÉTRICO
RANGO	< 200,0 ppm CaCO <sub>3</sub>
REACTIVOS	Indicador naranja de metilo Ácido sulfúrico 0.0207 N
PROCEDIMIENTO	Con una probeta medir 100ml de muestra, llevar a matraz erlenmeyer de 300ml Añadir 2 gotas de indicador naranja de metilo, mezclar. Titular con ácido sulfúrico 0.0207 Anotar la cantidad gastada de ácido sulfúrico.
FORMULA DEL CALCULO	$A = \frac{V_1 * N * 50000 * F}{V_e}$ <p>A = determinación de la alcalinidad (ppm) N = concentración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (eq-g/L) V<sub>e</sub> = volumen de la muestra (ml) V<sub>1</sub> = volumen gastado de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ml F = Factor de corrección (1.03734)</p>

**Fuente:** LABORATORIO CENTRAL

### 3.3.8. MEDICIÓN DE SÍLICE

La determinación de sílice se lo realiza con un medidor digital calibrado donde veremos las siguientes características:

**TABLA 8: ANÁLISIS DEL SÍLICE**

MARCA	HACH
MODELO	DR 900
RANGO DE MEDICIÓN:	0,5 – 10,0 ppm SiO <sub>2</sub> 5 – 100 ppm SiO <sub>2</sub>
REACTIVO	Los reactivos que se utilizan vienen en un sobre específicamente para cada análisis: Reactivo 1 Molibdato Reactivo 2 Ácido cítrico Reactivo 3 Acido
PROCEDIMIENTO	Tomar una muestra de 5 ml de agua Realizar primeramente una lectura con el blanco. Añadir el primer reactivo en la muestra de agua agitar, ponerlo en el equipo para su lectura. Luego añadir el segundo reactivo agitar y poner en el equipo para su lectura. Por ultimo añadir el tercer reactivo agitar y realizar su lectura en el equipo
LECTURA FINAL	Como el equipo utilizado es digital el resultado no los muestra en pantalla. Sílice < 30 ppm

**Fuente:** LABORATORIO CENTRAL

### 3.3.9. MEDICIÓN DE HIERRO

La determinación del hierro se lo realiza con un medidor digital calibrado donde veremos las siguientes características:

**TABLA 9: ANÁLISIS DE HIERRO**

MARCA	HACH
MODELO	DR 900
RANGO DE MEDICIÓN:	<0.5ppm Fe
REACTIVO	Los reactivos que se utilizan vienen en un sobre específicamente para cada análisis: Reactivo: 1 Fenantrolina de hierro.
PROCEDIMIENTO	Tomar una muestra de 5 ml de agua Realizar primeramente una lectura con el blanco. Añadir el reactivo en la muestra de agua agitar, ponerlo en equipo para su lectura.
LECTURA FINAL	Como el equipo utilizado es digital el resultado no los muestra en pantalla. Hierro < 0.5 ppm

**Fuente:** LABORATORIO CENTRAL

### **3.3.10. MEDICIÓN DE SULFITO**

La determinación analítica de sulfito se lo realiza mediante análisis donde veremos las siguientes características:



**TABLA 10: ANÁLISIS DE SULFITO**

MARCA	ALEMANA
MÉTODO	VOLUMÉTRICO
RANGO	>5ppm
REACTIVOS	Indicador Almidón 2% Ácido clorhídrico concentrado HCl Titulación con yoduro y yodato al 0,0245 N.
PROCEDIMIENTO	Con una probeta medir 100ml de muestra de agua , llevar a matraz Erlenmeyer de 300ml Añadir 4 gotas de indicador almidón, mezclar. Añadir 1 ml de ácido clorhídrico concentrado, mezclar Titular con dilución de yoduro y yodato Anotar la cantidad gastada de dilución de yoduro y yodato
FORMULA DEL CALCULO	S = determinación de sulfito (ppm) N = concentración de yoduro y yodato V <sub>e</sub> = volumen de la muestra (ml) V <sub>1</sub> =volumen gastado de yoduro y yodato ml F = Factor de corrección (0.98)
$S = \frac{V_1 * N * 40000 * F}{V_e}$	

**Fuente:** LABORATORIO CENTRAL

## 4. DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.2. PARÁMETROS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN Y DE CALDERA

Para el análisis de los datos se van a tomar dos parámetros muy importantes, la primera es de la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA, y la otra será con las normas internacionales ASME.

#### 4.2.1. PARÁMETROS DE LA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA EASBA

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros de calidad del agua de alimentación a la caldera como también el agua interna de la caldera, estos son los parámetros de calidad con la que se trabaja en la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA

**TABLA 11:** Parámetros de calidad del agua exigidas por la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA

Parámetros De Agua De Caldera	Unidades	Agua De Alimentación	Agua De Caldera
pH		8.8 a 9.3	9 a 11
Conductividad	mS/cm	<50	<300
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	<2
Alcalinidad total	ppm CaCO <sub>3</sub>	-	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0	<30
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	-	>5
Hierro	ppm Fe+2	<0.1	<0.5

**Fuente:** Parámetros área de caldera EASBA

#### 4.2.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RECOMENDADA POR LAS NORMAS ASME

En la siguiente tabla se muestran los parámetros del agua de alimentación a la caldera como también el agua interna de la caldera, estos parámetros son recomendados por las normas internacionales ASME.

**TABLA 12:** Parámetros de calidad del agua según normas internacionales

<b>Parámetros De Agua De Caldera</b>	<b>Unidades</b>	<b>Agua De Alimentación</b>	<b>Agua De Caldera</b>
pH		8.5 a 9.6	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	<30	<1500
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	<0.5	<2
Alcalinidad total	ppm CaCO <sub>3</sub>	-	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	-	>10
Hierro	ppm Fe+2	<0.1	<0.5

**Fuente:** Carlos O. Alderete Calderas de Bagazo

A continuación se realizará el análisis de manera experimental de los datos de calidad de agua de alimentación y de caldera, realizando una comparación con los rangos recomendados por la norma ASME.

#### **4.2.3. PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA**

**TABLA 13:** Datos de análisis agua de alimentación

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>15/08/2022</b>	<b>17/08/2022</b>	<b>20/08/2022</b>	<b>21/08/2022</b>	<b>Normas ASME</b>
pH		7.71	7.84	7.98	8.10	8.5 a 9
Conductividad	mS/cm	8.12	8.34	8.89	8.93	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Hierro	ppm Fe+2	0.001	0.01	0.01	0.02	<0.1

**Fuente:** Elaboración Propia

#### **4.2.4. PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA**

**TABLA 14:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	15/08/2022 Caldera	16/08/2022 Caldera	17/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.10	9.56	10	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	354.00	255.20	472.00	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	3.00	1.00	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	51.54	2.50	70.86	<200
Sílice	PpmSiO <sub>2</sub>	0.05	0.05	0.01	<8
Sulfito	ppmSO <sub>3</sub>	11.52	9.50	9.6	>10
Hierro	ppmFe+2	0.4	0.5	0.55	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 15:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	18/08/2022 Caldera	19/08/2022 Caldera	20/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.14	10.45	9.36	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	487	617	378	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	1	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	94.48	85.89	42,95	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.05	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	3.84	7.68	3.84	>10
Hierro	ppm Fe+2	1.03	1.1	1.33	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 16:** Datos de análisis de agua en caldera

Parámetro	Unidades	20/08/2022 Caldera	21/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		9.89	9.67	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	834	937	<1500

Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	98.78	75.16	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.12	0.02	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	5.76	9.6	>10
Hierro	ppm Fe+2	4.7	3.2	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.5. SEGUNDA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA

**TABLA 17:** Datos de análisis agua de alimentación

Parámetro	Unidades	22/08/2022	23/08/2022	24/08/2022	25/08/2022	Normas ASME
pH		7.85	7.79	7.91	8.11	8.5 a 9.6
Conductividad	mS/cm	8.08	8.26	8.45	8.78	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.00	0.0	0.01	0.01	0
Hierro	ppm Fe+2	0.00	0.0	0.01	0.01	<0.1

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 18:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	22/08/2022 Caldera	23/08/2022 Caldera	24/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		9.83	9.48	9.47	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	835	946	987	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	64.42	55.83	53.68	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.08	0.01	0.12	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	7.68	7.68	5.76	>10
Hierro	ppm Fe+2	3.42	1.69	1.78	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 19:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	25/08/2022 Caldera	26/08/2022 Caldera	27/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		9.16	9.48	9.76	9 a 11
Conductividad	mS/cm	931	998	735	<300
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	55.83	75.16	75.16	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.03	0.05	0.01	<30
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	15.37	28.81	28.81	>5
Hierro	ppm Fe+2	1.02	0.99	4	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 20:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	27/08/2022 Caldera	28/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		9.97	8.98	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	623	511	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	53.68	30.06	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.01	0.09	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	13.45	7.68	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.98	0.44	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.6. TERCERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA

**TABLA 21:** Datos de análisis agua de alimentación

Parámetro	Unidades	29/08/2022	30/08/2022	31/08/2022	01/09/2022	Normas ASME
pH		7.88	7.97	8.44	8.56	8.5 a 9.6
Conductividad	mS/cm	9.46	9.66	10.03	10.08	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0	0	0.01	0.01	0

Hierro	ppm Fe+2	0	0,01	0.01	0.01	<0.1
--------	----------	---	------	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.7. TERCERA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA

**TABLA 22:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	29/08/2022 Caldera	30/08/2022 Caldera	31/08/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.93	10.98	10.99	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	566	538	478	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	92.33	122.4	105.22	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0	0.01	0.01	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	17.29	11.52	11.52	>10
Hierro	ppm Fe+2	4.46	1.94	2.1	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 23:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	01/09/2022 Caldera	02/09/2022 Caldera	03/09/2022 caldera	Normas ASME
pH		10.92	10.94	10.6	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	476	444	415	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	103.07	115.95	107.36	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.1	0.12	0.23	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	15.37	15.37	5.76	>10
Hierro	ppm Fe+2	1.82	3.72	5.56	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 24:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	03/09/2022 Caldera	04/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.28	10.31	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	531	475	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	77.3	73.01	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.06	0.03	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	23.05	9.6	>10
Hierro	ppm Fe+2	1.59	1.22	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.8. CUARTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA

**TABLA 25:** Análisis agua de alimentación

Parámetro	Unidades	05/09/2022	06/09/2022	07/09/2022	08/09/2022	Norma ASME
pH		8.37	8.59	8.23	8.34	8.5 a 9.6
Conductividad	mS/cm	8.11	9.34	8.55	9.87	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.01	0
Hierro	ppm Fe+2	0.0	0.01	0.01	0.01	<0.1

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.9. CUARTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA

**TABLA 26:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	05/09/2022 Caldera	06/09/2022 Caldera	07/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.51	10.32	10.65	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	437	361	426	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2



Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	70.86	53.68	98.78	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.08	0.16	0.19	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	9.6	5.76	19.21	>10
Hierro	ppm Fe+2	1.12	1.72	0.16	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA 27:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	08/09/2022 Caldera	09/09/2022 Caldera	10/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.65	10.73	10.42	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	396	388	365	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	98.78	81.6	79.45	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.01	0.001	0.23	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	21.13	21.13	19.21	>10
Hierro	ppm Fe+2	1.69	1.44	1.56	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA 28:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	10/09/2022 Caldera	11/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.18	10.75	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	350	385	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	81.6	79.45	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.01	0.05	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	21.13	19.21	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.25	0.58	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.2.10. QUINTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN

**TABLA 29:** Análisis agua de alimentación

Parámetro	Unidades	12/09/2022	13/09/2022	14/09/2022	15/09/2022	Normas ASME
pH		8.49	8.53	9.12	8.65	8.5 a 9.6
Conductividad	mS/cm	9.76	9.80	10.11	10.33	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.01	0
Hierro	ppm Fe+2	0.0	0.1	0.01	0.01	<0.1

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.11. QUINTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA

**TABLA 30:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	12/09/2022 Caldera	13/09/2022 caldera	14/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.36	10.36	10.12	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	346	358	284.5	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	73.01	68.71	55.83	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.03	0.14	0.25	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	21.13	19.21	15.37	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.28	1.34	1.88	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 31:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	15/09/2022 Caldera	16/09/2022 Caldera	17/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.31	10.22	10.29	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	304	368	408	<1500

Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	66.57	100.92	98.78	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.17	0.23	0.29	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	19.21	19.21	17.29	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.47	0.4	1.58	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA 32:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	17/09/2022 Caldera	18/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		9.95	10.06	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	240.3	525	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	90.19	128.84	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.36	0.9	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	9.6	19.21	>10
Hierro	ppm Fe+2	1.39	3.2	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.2.12. SEXTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE ALIMENTACIÓN

**TABLA 33:** Análisis agua de alimentación

Parámetro	Unidades	19/09/2022	20/09/2022	21/09/2022	22/09/2022	Normas ASME
pH		8.79	8.89	8.12	7.34	8.5 a 9.6
Conductividad	mS/cm	8.12	8.24	9.25	9.27	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.01	0.01	0

Hierro	ppm Fe+2	0.00	0.01	0.01	0.01	<0.1
--------	----------	------	------	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.13. SEXTA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA

**TABLA 34:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	19/09/2022 Caldera	20/09/2022 Caldera	21/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.23	10.25	10.14	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	473	495	238.4	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	124.54	103.07	55.83	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.16	0.17	0.1	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	46.1	51.86	13.45	>10
Hierro	ppm Fe+2	2.2	1.25	1.03	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 35:** Datos de análisis agua de caldera

Parámetro	Unidades	22/09/2022 Caldera	23/09/2022 Caldera	24/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10	9.69	9.87	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	209	181.4	184.6	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	49.39	45.09	51.54	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.11	0.07	0.42	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	14.41	13.45	13.45	>10
Hierro	ppm Fe+2	2.6	1.65	4.38	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 36:** Datos de análisis agua en caldera

Parámetro	Unidades	24/09/2022 Caldera	25/09/2022 Caldera	Normas ASME
pH		10.21	10.05	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	260.7	198.1	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	66.57	47.24	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.001	0.001	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	24.97	13.45	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.36	0.34	<0.5

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.14. SÉPTIMA ETAPA DE ANÁLISIS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

**TABLA 37:** Datos de análisis agua de alimentación

Parámetro	Unidades	26/09/2022	27/09/2022	28/09/2022	29/09/2022	Normas ASME
pH		8.47	8.50	8.57	8.69	8.5 a 9.6
Conductividad	mS/cm	7.11	6.96	8.65	8.97	<30
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	<0.5
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.00	0.0	0.0	0.01	0
Hierro	ppm Fe+2	0.00	0.0	0.0	0.01	<0.1

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.15. SÉPTIMA ETAPA DE ANÁLISIS AGUA DE CALDERA

**TABLA 38:** Datos de análisis agua de caldera

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>26/09/2022 Caldera</b>	<b>27/09/2022 Caldera</b>	<b>28/09/2022 Caldera</b>	<b>Normas ASME</b>
pH		9.96	10.14	10.24	9.8 a 10.5
Conductividad	mS/cm	193.4	234.2	279.8	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	51.54	64.42	68.71	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.001	0.06	0.25	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	14.41	15.37	21.13	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.52	0.48	1.54	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA 39:** Datos de análisis agua de caldera

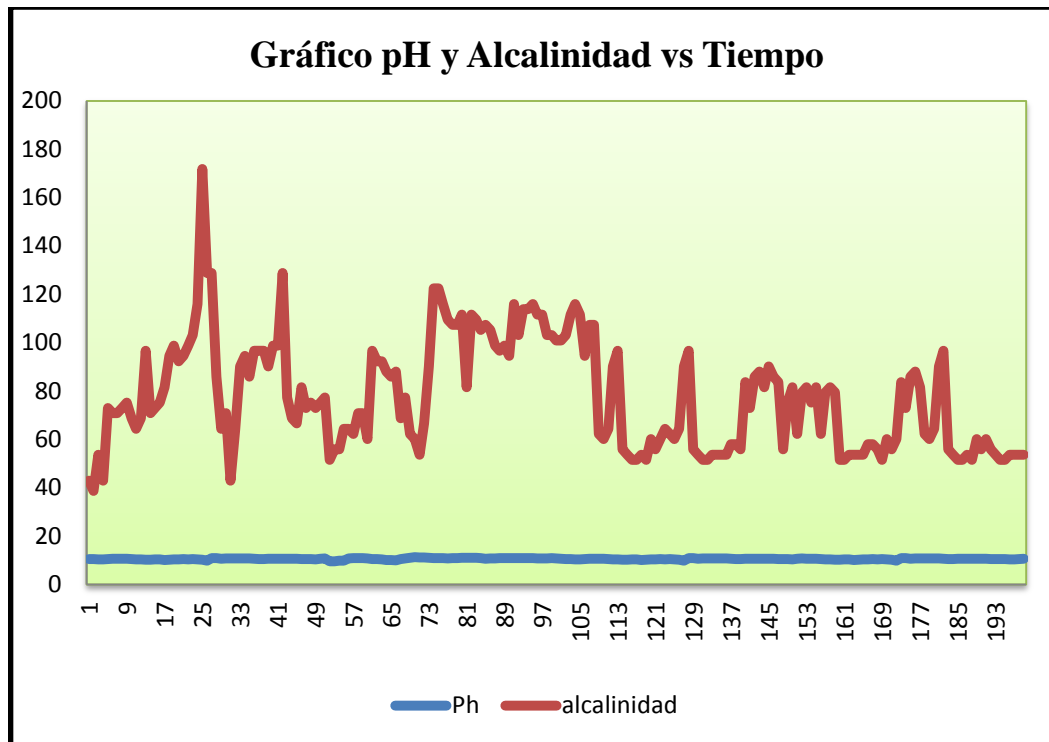
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>29/09/2022 Caldera</b>	<b>30/09/2022 Caldera</b>	<b>31/09/2022 Caldera</b>	<b>Normas ASME</b>
pH		10.03	10.24	9.83	9.8 a10.5
Conductividad	mS/cm	260.3	216.2	120.4	<1500
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	<2
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	60.12	62.27	45.09	<200
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.001	<8
Sulfito	ppm SO <sub>3</sub>	19.21	17.29	11.52	>10
Hierro	ppm Fe+2	0.45	0.18	0.21	<0.5

**Fuente:** Elaboración Propia

### 4.3. GRÁFICOS DEL CONTROL OPERATIVO

#### 4.3.1. GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DE LA ALCALINIDAD Y EL pH DE AGUA EN LA CALDERA

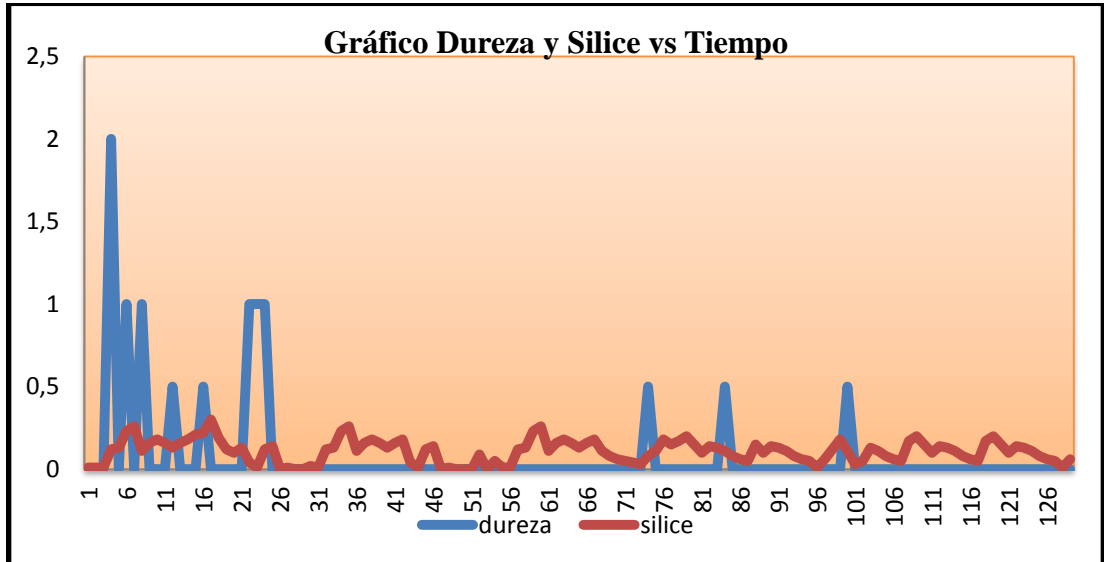
Gráfica 2: comportamiento de la alcalinidad y pH del agua de caldera



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2. GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA Y SÍLICE EN EL AGUA DE CALDERA

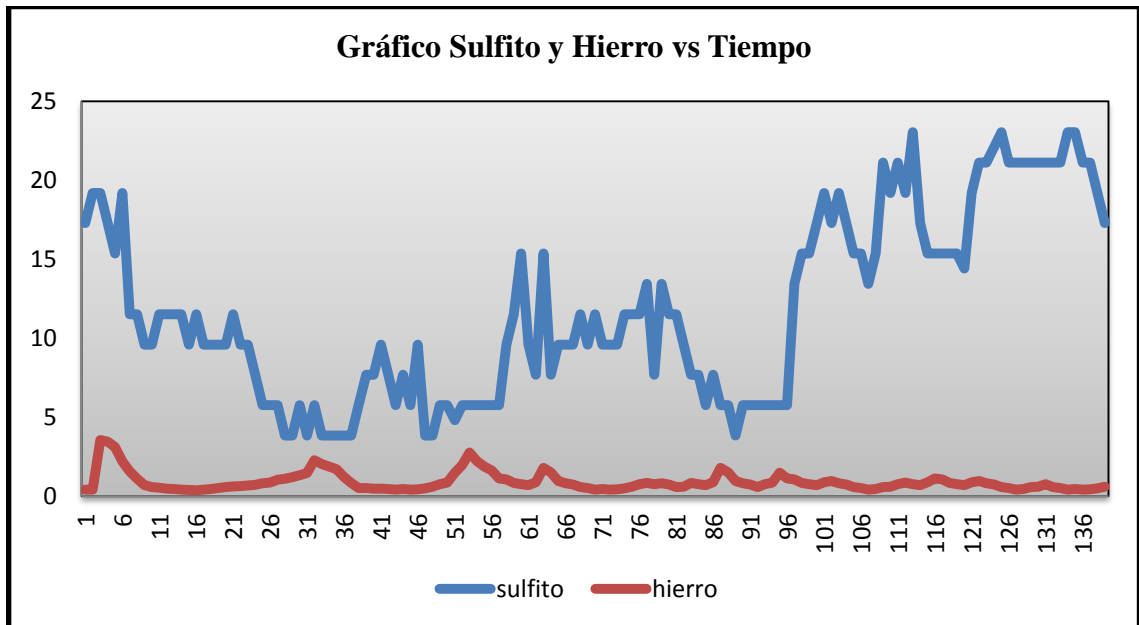
Gráfica 3: comportamiento de la dureza y sílice del agua de caldera



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.3. GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA Y SÍLICE EN EL AGUA DE CALDERA

Gráfica 4: comportamiento del sulfito y el hierro en el agua de caldera

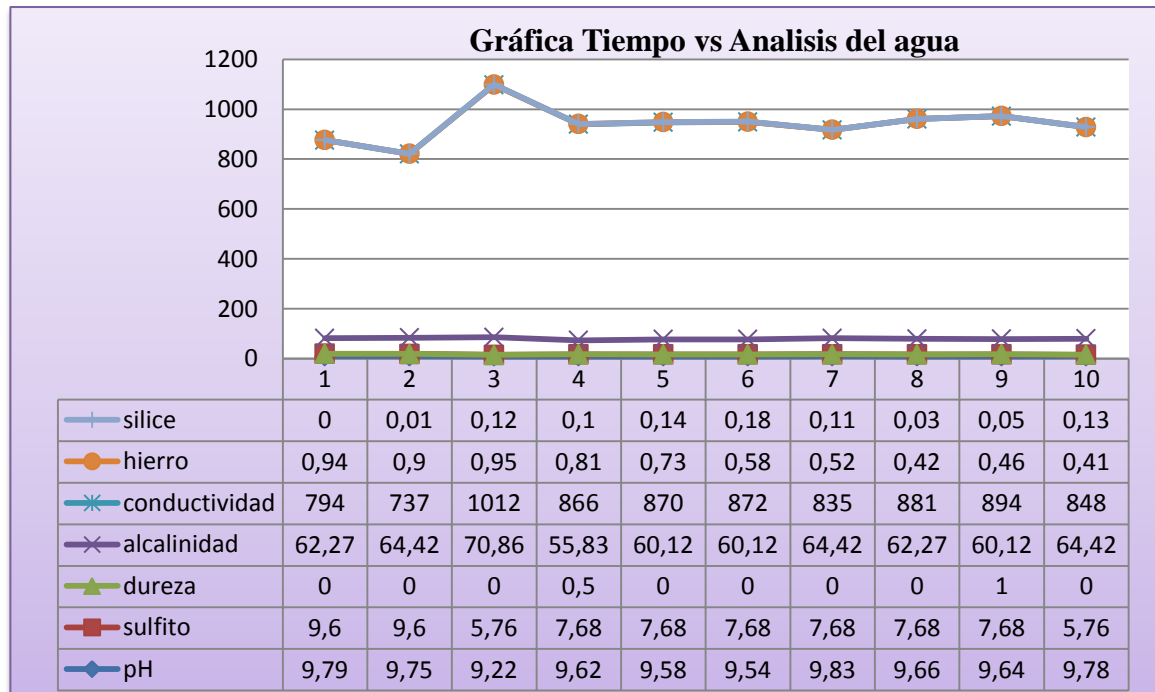


Fuente: Elaboración Propia



#### 4.3.4. EVALUACIÓN MEDIANTE GRÁFICAS SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CALDERA EN DISTINTAS ETAPAS

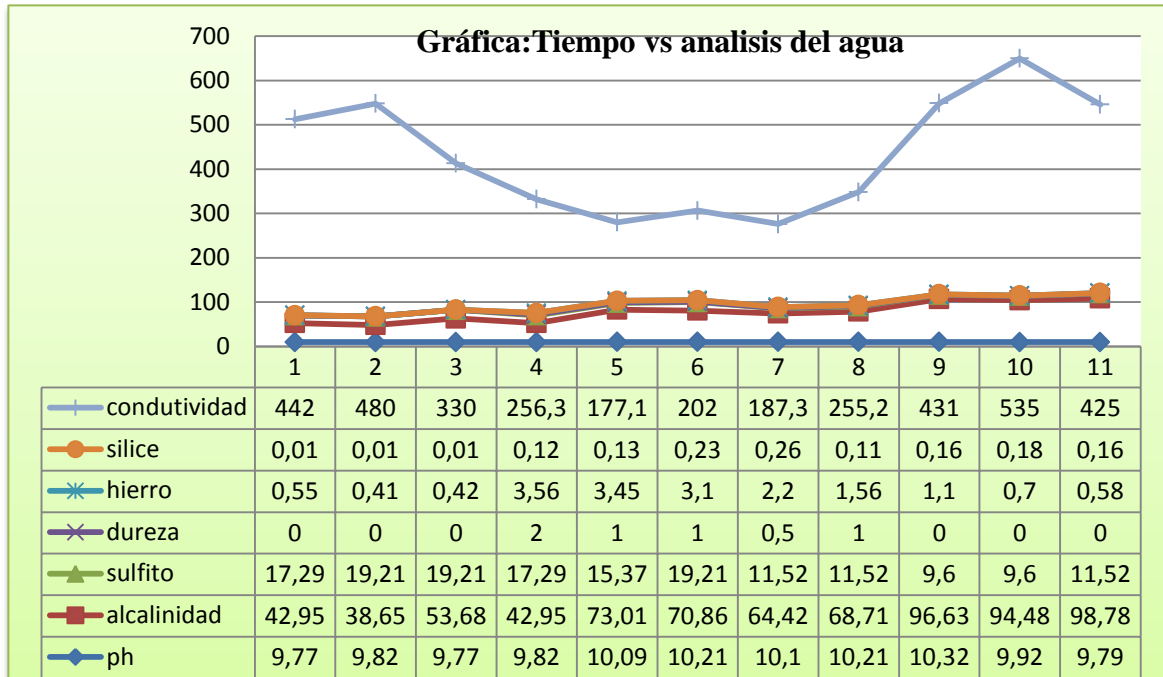
**Gráfica 5:** Evaluación de la calidad del agua en etapa de encendido de la caldera



**Fuente:** Elaboración Propia

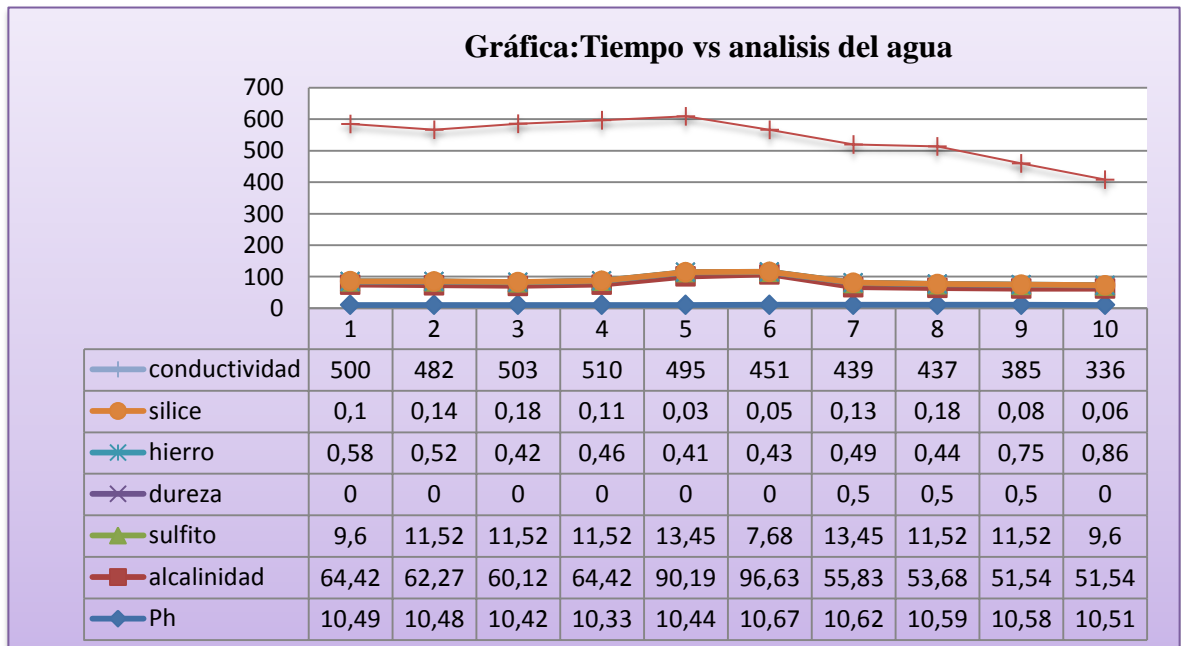
Para poder mostrar el comportamiento del agua al interior de la caldera se realizó gráficas mediante datos obtenidos de manera experimental, es importante destacar que gracias a los datos obtenidos y a los gráficos pudimos determinar cuáles fueron las causas del incremento de algunos parámetros como se puede apreciar en gráficos, para lo cual se realizó un seguimiento hasta poder llegar a los rangos correspondientes

**Gráfica 6:** Evaluación de la calidad del agua en la caldera en etapa de producción



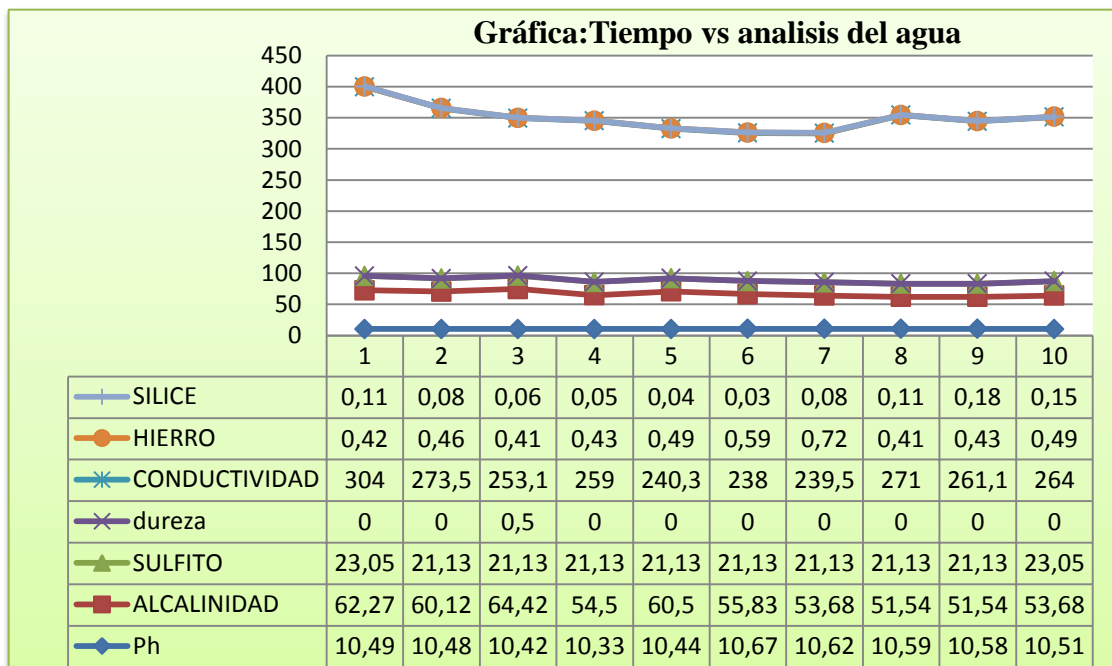
**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 7:** Evaluación de la calidad del agua en la caldera en etapa de producción



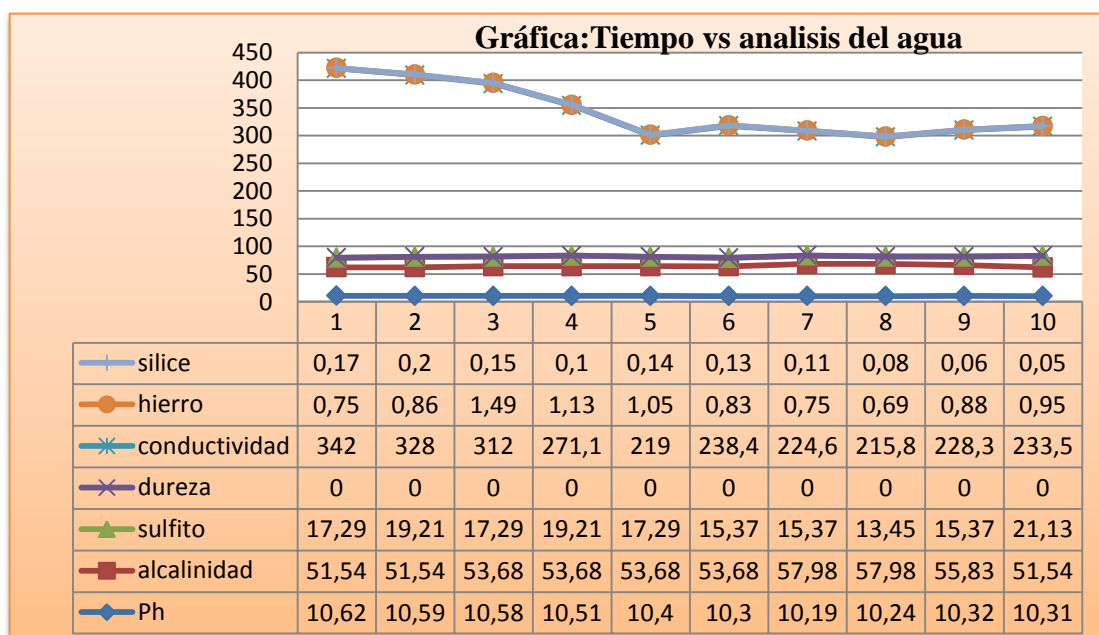
**Fuente:** Elaboración Propia

**Grafica 8:** Evaluación de la calidad del agua en la caldera en etapa de producción



**Fuente:** Elaboración Propia

**Grafica 9:** Evaluación de la calidad del agua en la caldera en etapa de producción



**Fuente:** Elaboración Propia

Con los datos obtenidos experimentalmente se realizaron las gráficas que nos muestra el comportamiento del agua de caldera desde la etapa del encendido hasta la etapa de producción de vapor, demostrando así el mejoramiento del agua dentro de la caldera.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.2. CONCLUSIONES**

- ✓ En el presente trabajo se pudo evidenciar que en el área de tratamientos químicos de agua no contaba con un procedimiento operativo para el manejo de todos los equipos, por lo cual se pudo realizar satisfactoriamente el diagrama de todo el proceso, describiendo cada equipo y sus capacidades de funcionamiento.
- ✓ La dosificación de productos químicos a la caldera es parte importante ya que nos ayuda a evitar la formación de incrustaciones, se pudo evidenciar que este proceso no cuenta con un manual operativo, por lo cual se pudo realizar satisfactoriamente el diagrama de todo el proceso de dosificación a la caldera realizando también la descripción de los equipos y su funcionamiento.
- ✓ Es importante conocer qué procedimiento de preparación de productos químicos es para la caldera, así como el caudal y el volumen que ingresa, por lo cual se ha realizado los diagramas de flujo de la preparación de cada producto químico y el cálculo que ha permitido determinar el caudal de ingreso a la caldera.
- ✓ Se ha realizado un procedimiento operativo para realizar el contra lavado de la columna de carbón activado y la regeneración de las columnas catiónicas, aniónicas y mixtas, donde se describe los tiempos y etapas de cada proceso, para que las resinas tengan una mejor eficiencia en la producción de agua desmineralizada.
- ✓ Se ha realizado un protocolo donde se ha actualizado los métodos de análisis cuantitativo y los equipos digitales que son utilizados para el análisis del agua de alimentación a la caldera, como también el agua dentro de la caldera para poder obtener datos con un margen de error mínimo.

- ✓ Se ha determinado de manera experimental las condiciones del agua dentro de la caldera, las cuales comparando con las normas internacionales (ASME) están dentro de los rangos correspondientes.
- ✓ Mediante el análisis experimental se pudo realizar la construcción de tablas y gráficos de distintos días donde se puede observar el comportamiento del agua dentro de la caldera, garantizando de esta manera la producción de vapor para la zafra 2022 de la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA.

### **5.3. RECOMENDACIONES**

- ✓ Se debería realizar una capacitación eléctrica y mecánica para poder entender mejor todo el proceso de funcionamiento del área de tratamientos químicos de agua, ya que se está en constante manejo de bombas y válvulas.
- ✓ Se recomienda crear guías o rutinas de inspección de los equipos, maquinarias y sistemas de seguridad, para el buen funcionamiento del área de tratamiento químico de aguas, a fin de reducir pérdidas de agua.
- ✓ Se recomienda realizar purgas de fondo constates cuando se está empezando a encender la caldera esto nos ayuda a mantener los S.T.D. por debajo del límite máximo permisible y evacuar los lodos existentes, pero sin sacrificar mucha pérdida de energía.
- ✓ Realizar una inspección y tomar en cuenta las condiciones de la caldera, para hacer el mantenimiento o limpieza con agua a alta presión a los tubos, para así realizar una verificación si existen incrustaciones, con el fin de evaluar los resultados del tratamiento químico que se realiza, al agua de alimentación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- <https://bosstech.pe/tratamiento-de-agua-por-intercambio-ionico/>
- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/609/Capitulo3.pdf>
- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/609/Capitulo3.pdf>
- <https://jhuesa.com/tecnologias/intercambio-ionico>
- ASME CRTD-Vol 34: Consensus on Operating Practice for the Control of Feedwater and Boiler Water Chemistry in Modern Industrial Boiler (1994)
- ASME PTC 19.11-2008: Steam and Water Sampling, Conditioning, and Analysis in the Power Cycle [18]
- KRASNOSCHIOKOV, E. A. &SUKOMIEL, A. S., Problemas de Termotransferencia, Mir, Moscú, 1977.
- McMULLAN, J.T., & MORGAN, R., & MURRAY, R.B., Recursos Energéticos, Blume, Barcelona, 1981.
- VARGAS ZÚÑIGA, A., Calderas Industriales y Marinas, Editorial Series VZ, Guay <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-de-santa-maria/fisica-fluidos-y-termodinamica/tratamiento-de-agua-para-calderas-de-vapor/9065307aquil>, 1984.
- PANKRÁTOV, G., Problemas de Termotecnia, MIR, Moscú, 1987.

## 7. ANEXO

### 7.2. ANEXO 1 ARE DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE AGUA

Foto 1: Área de tratamientos químicos de agua



Fuente: fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

Foto 2: columna de carbon activado



Fuente: fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto2:** En el área de tratamientos química de agua se tienen dos columnas de carbón activado para realizar la primera etapa para la producción de agua desmineralizada.

**Foto 3:** Columna de cationes



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 4:** Columna de aniones



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 5:** Columna mixta





**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 6:** Sistema de inyección de HCl y NaOH



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

### 7.3. ANEXO 2 SISTEMA DE CONTROL OPERATIVO A DISTANCIA (DCS)

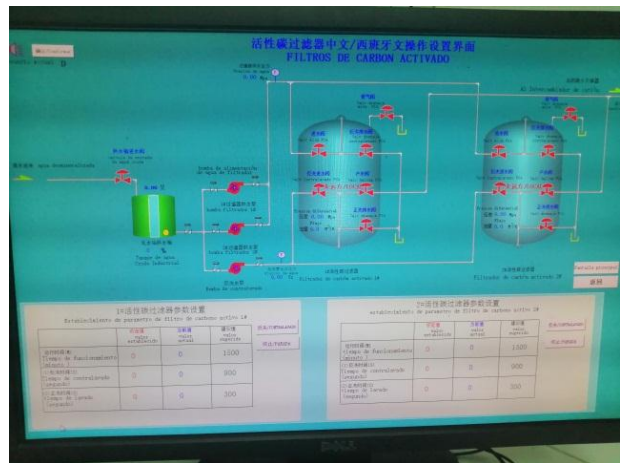
**Foto 7:** pantalla principal del sistema de control distribuido (DCS) del área de tratamientos químicos de agua



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 7:** El sistema de control distribuido (DCS) es un sistema automático que nos ayuda a operar los distintos equipos como ser válvula, sensores de temperatura, de caudal, de sílice, el encendido y apagado de bombas y muchos equipos más. Todo el proceso de producción de agua desmineralizada es controlada desde estos monitores.

**Foto 8:** Pantalla de control columnas de carbon activado y columna catiónica



Fuente: Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 8:** Estas pantallas de control operativo son para realizar la programación del contralavado a la columna de carbón activado y la regeneración de las resinas catiónicas.

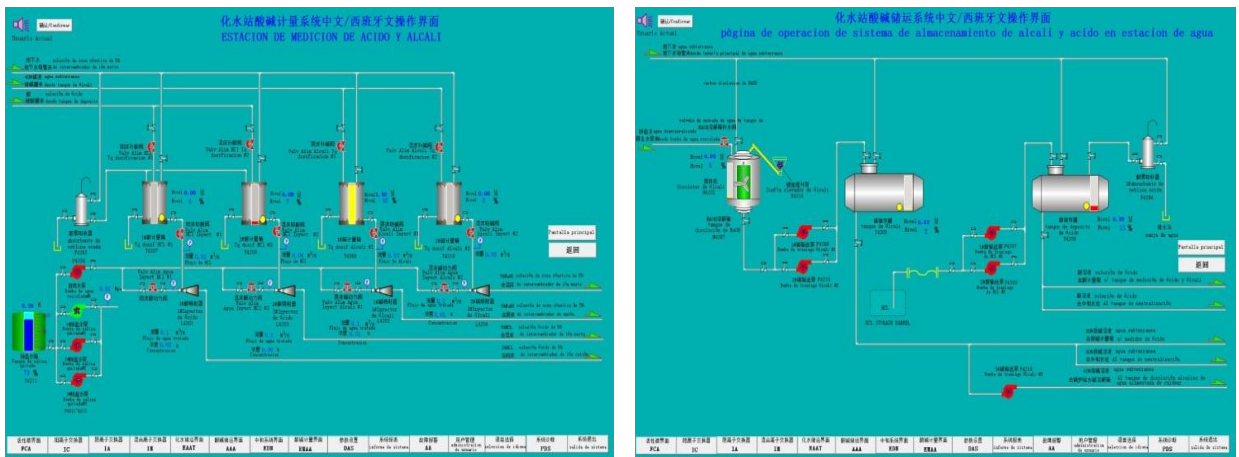
**Foto 9:** Pantalla de control operativo de las columnas Aniónicas y columnas mixtas



Fuente: Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 9:** Estas pantallas de control operativo son para realizar la programación y realizar la regeneración de las columnas de resinas aniónicas y columnas mixta

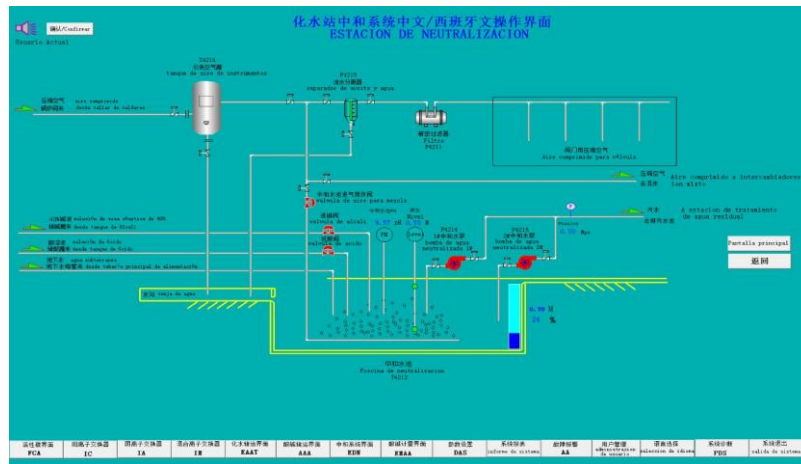
**Foto 10:** Pantalla de control operativo de almacenamiento de ácido clorhídrico y hidroxido de sodio y estación de medición de HCl y NaOH



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 10:** Mediante esta pantalla se realiza el control del almacenamiento del ácido clorhídrico y el hidroxido de sodio y también se controla la cantidad que va a ser utilizada para realizar la regeneración de resinas.

**Foto 11:** Pantalla de control operativo estación de neutralización



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 12:** Mediante esta pantalla se realiza el control para la neutralización del agua desechada después de las regeneraciones de las columnas.

#### 7.4. ANEXO 3 ÁREA DE DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

**Foto13:** Tanques de preparación de productos químicos



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 13:** En estos tanques se realizan las distintas preparaciones de productos químicos para la dosificación a la caldera.

**Foto 13:** Toma de muestra de la caldera y el desaireador

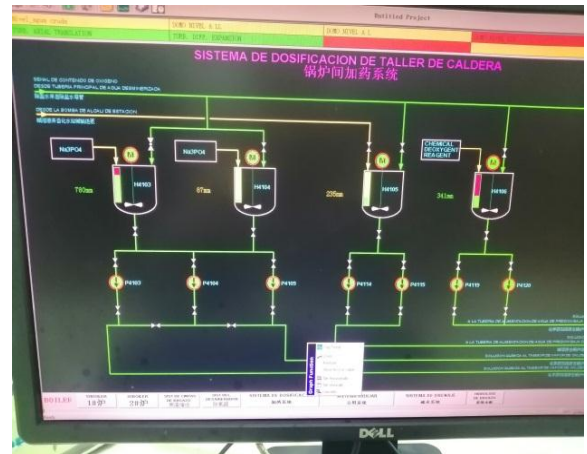
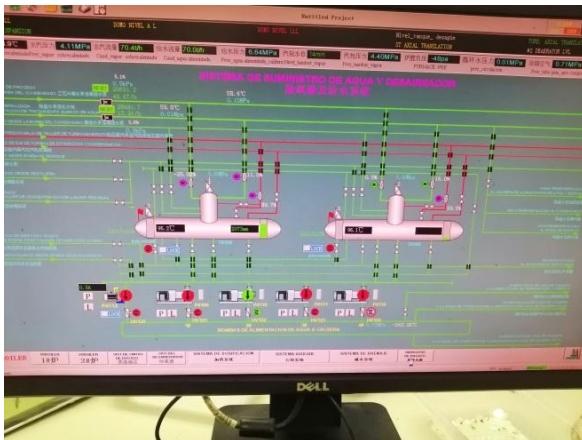


**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 13:** toma de muestras para el análisis del agua de caldera, se observa el desaireador donde es almacenado el agua antes del ingreso a la caldera.

## 7.5. ANEXO 4 SISTEMA DE CONTROL A DISTANCIA (DCS) DE CALDERA

**Foto 14:** Pantalla de control operativo de alimentación de agua a la caldera y dosificación



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 14:** Pantalla de control operativo de la caldera, mediante esta pantalla se realiza el control de la alimentación de agua a la caldera y dosificación de productos químicos

## 7.6. ANEXOS LABORATORIO DE TRATAMIENTO QUÍMICOS DE AGUA

**Foto 15:** Laboratorio de tratamientos químicos



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 15:** El laboratorio del área de tratamiento químico de aguas se encarga de realizar el análisis de agua para la caldera.

**Foto 16:** Análisis de la alcalinidad y sulfito al agua de caldera



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 16:** Se realiza un análisis volumétrico para poder determinar la alcalinidad y sulfito en el agua de caldera

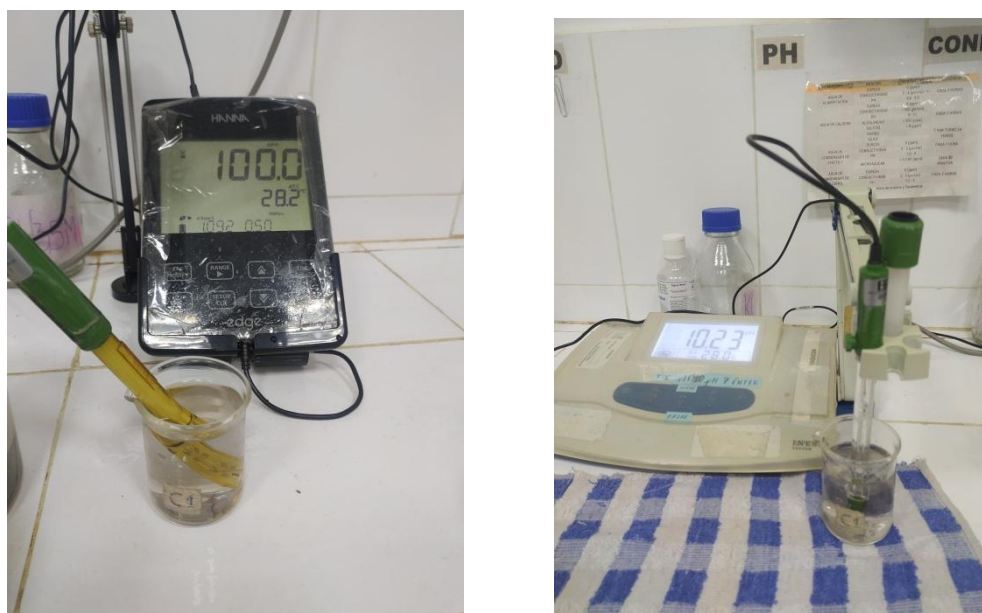
**Foto 17:** Análisis de la dureza y el microazúcar



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 17:** Se realiza un análisis volumétrico para la determinación de la dureza en el agua de caldera y también se realiza un análisis de micro azúcar al agua condensada para determinar si agua contiene arrastre de microazúcar.

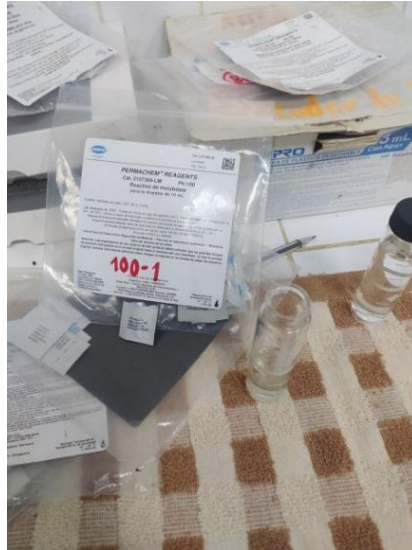
**Foto 18:** Analisis de medicion del pH y la conductividad del agua



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 18:** Para realizar los análisis de agua de alimentación y del agua interna de la caldera se utilizaron equipos digitales de medición, pHmetro y conductímetro.

**Foto 19:** Analisis de la cantidad de Silice Hierro



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura

**Foto 20:** Equipo de análisis de Sílice como tambien del Hierro



**Fuente:** Fotografía Empresa Azucarera San Buenaventura



**Foto 18:** Este equipo digital es muy sensible, es muy importante saber los pasos para poder manipularlo, gracias a este equipo digital podemos realizar la medición de la cantidad de sílice, hierro y muchos más elementos y el resultado es de un 98% real, no existe un margen de error enorme.