



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA PARA LA  
DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA  
LA SUAVIZACIÓN DE AGUA PARA  
ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA  
UBICADOS EN LA PLANTA DE  
SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA  
AVICOLA LA GUASIMA, C.A.**

**Autor:**

Raymond Alejandro Castillo Arismendi  
C.I.: V-25.981.308

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA LA SUAVIZACIÓN  
DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA UBICADOS EN LA PLANTA DE  
SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA AVICOLA LA GUASIMA, C.A.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Empresa: Avícola La Guásima C.A. Tocuyito. Estado Carabobo.**

**Autor:**

Raymond Alejandro Castillo Arismendi

C.I.: V-25.981.308

**Tutor:** Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

C.I.: V-4.598.880

San Diego, Diciembre de 2018



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA LA SUAIVIZACIÓN  
DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA UBICADOS EN LA PLANTA DE  
SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA AVICOLA LA GUASIMA, C.A.**

**CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN**

---

Ing. Alicia Yánez de Pizzella  
C.I.: V- 4.598.880  
Tutor Académico

---

Ing. Félix Martínez  
C.I.: V- 6.339.922  
Tutor Empresarial

**Autor:**  
Raymond Alejandro Castillo Arismendi  
C.I.: V-25.981.308

San Diego, Diciembre 2018

**Materias o áreas del conocimiento del Pensum que intervienen en la realización del Proyecto**

MATENIMIENTO MECÁNICO

CONVERSIÓN DE ENERGÍA Y SISTEM.TÉRMICO I

MECÁNICA DE FLUIDOS I

TRANSFERENCIA DE CALOR

**Línea de investigación:**

Investigación proyectiva (proyecto factible)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero Alicia Yánez de Pizzella portadora de la cédula de identidad N° 4598880 en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Raymond Castillo portador de la cédula de identidad N°25.981.308, titulado **PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA LA SUAVIZACIÓN DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA UBICADOS EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA AVICOLA LA GUASIMA, C.A.** Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, mes de Diciembre del año dos mil dieciocho

---

Ing. Alicia Yánez de Pizzella

C.I.: V- 4.598.880



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA LA SUAVIZACIÓN  
DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA UBICADOS EN LA PLANTA DE  
SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA AVICOLA LA GUASIMA, C.A.

#### CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN

  
Ing. Alicia Yáñez  
C.I.: V-4.455.859  
Tutor Académico

  
Ing. Félix Martínez  
C.I.: V- 6.339.922  
Tutor Empresarial

**Autor:**  
Raymond Alejandro Castillo Arismendi  
C.I.: V-25.981.308

San Diego, Agosto de 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quién suscribe, Ingeniero Alicia Yáñez portadora de la cédula de identidad N° 4.455.859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Raymond Castillo portador de la cédula de identidad N°25.981.308, titulado **PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA LA SUAVIZACIÓN DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA UBICADOS EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA AVICOLA LA GUASIMA, C.A.** Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, mes de agosto del año dos mil dieciocho

Ing. Alicia Yáñez  
C.I.: V-4.455.85

## INDICE GENERAL

<b>INTRUDUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I LA EMPRESA</b>	
1.1    Ubicación.....	2
1.2    Características y Proceso que Cubre.....	3
1.3    Misión.....	4
1.4    Visión.....	4
1.5    Objetivos.....	4
1.6    Características del Departamento donde se realizó la Pasantía.....	7
<b>II EL PROBLEMA</b>	
2.1    Planteamiento del Problema.....	9
2.2    Formulación del problema.....	10
2.3    Objetivos de la investigación.....	10
2.3.1    Objetivo general.....	10
2.3.2    Objetivos específico.....	11
2.4    Justificación de la investigación.....	11
2.5    Alcance.....	11
2.6    Limitaciones.....	12
<b>III MARCO TEÒRICO</b>	
3.1    Antecedentes.....	13

3.2	Bases teóricas.....	14
3.2.1	Vapor.....	14
3.2.2	La Caldera.....	15
3.2.3	Agua de Alimentación.....	16
3.2.4	Tratamiento físico-químico del agua de aportación.....	17
3.2.4.1	Clarificación.....	18
3.2.4.2	Desendurecimiento por intercambio iónico.....	18
3.2.4.3	Descarbonatación por resinas carboxílicas.....	18
3.2.4.4	Desmineralización total por intercambio iónico.....	19
3.2.4.5	El Desaerador.....	19
3.2.5	Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).....	19
3.2.6	Incrustaciones.....	20
3.2.7	Suavizador de Agua.....	22
3.2.8	Tipos de Suavizadores.....	22
3.2.8.1	Suavizadores Catalíticos.....	22
3.2.8.2	Suavizadores Mecánicos.....	23
3.2.8.3	Suavizadores Químicos.....	23
3.3	Definición de términos básicos.....	24
<b>IV FASES METODOLÓGICAS.....</b>		<b>25</b>
	Analizar las razones de falla del equipo.....	25
	Definir los parámetros a controlar por el equipo.....	25
	Estudiar la línea de Alimentación.....	25
	Registrar el trabajo de tratamiento de Agua.....	26
<b>V RESULTADOS</b>		
5.1	Analizar las razones de falla del equipo.....	27

5. 2 Definir los parámetros a controlar por el equipo.....	31
5.2.1 Definición de la resina que contienen los suavizadores...	32
5.3 Estudiar de la línea de Alimentación.....	33
5.3.1 Diámetro de la tubería.....	33
5.3.2 Espesor mínimo de pared.....	34
5.3.3 Propiedades del tubo seleccionado.....	35
5.3.4 Estado de la Resina.....	36
5.4 Registrar el trabajo de tratamiento de Agua.....	50
5.4.1Ciclo de retrolavado.....	51
5.4.2Ciclo de extracción de salmuera.....	52
5.4.3Ciclo de enjuague lento.....	53
5.4.4Ciclo de enjuague rápido.....	53
5.4.5 Ciclo de recarga.....	54
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### FIGURA

1. Organigrama General de la Empresa Avícola La Guasima,.....	5
2. Organigrama del Departamento de Proyectos de la empresa Avícola La Guasima, C.A.....	6
3. Caldera Pirotubular.....	16
4. Esquema del Tratamiento de la Alimentación de Agua a Calderas de Vapor.....	17

5. Incrustaciones dentro de una Caldera de Vapor.....	21
6. Suavizadores Time Clock Duplex.....	23
7. Ciclo de Servicio.....	50
8. Ciclo de Retrolavado.....	51
9. Ciclo de Extracción.....	52
10. Ciclo de Enjuague Lento.....	53
11. Ciclo de Enjuague Rápido.....	54
12. Ciclo de Recarga.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

### TABLA

1. Parámetros de funcionamiento -Suavizadores,.....	31
2. Comparación en Variables de funcionamiento.....	32
3. Variables a estudiar.....	33
4. Valor de los diámetros.....	34
5. Espesor mínimo de pared.....	35
6. Propiedades de diseño de tuberías de acero.....	35
7. Dureza del Agua.....	36
8. Dureza total (CaCO <sub>3</sub> ) presente en el agua.....	38
9. Dureza cálcica (Ca <sup>2+</sup> ) presente en el agua.....	40
10. Dureza Magnésica (Mg <sup>2+</sup> ) presente en el agua.....	41

11. Dureza total (CaCO <sub>3</sub> ) presente en la salmuera.....	43
12. Dureza cálcica (Ca <sup>2+</sup> ) presente en la salmuera.....	44
13. Dureza Magnésica (Mg <sup>2+</sup> ) presente en la salmuera.....	46
14. Comparación de los iones Ca <sup>2+</sup> y Mg <sup>2+</sup> con la norma COVENIN 179:1995.....	48
15. Comparación de iones Ca <sup>2+</sup> y Mg <sup>2+</sup> presentes en la sal bruta con la norma.....	49

### ÍNDICE DE GRÁFICAS

1. Dureza total CaCO <sub>3</sub> presente en el agua.....	39
2. Dureza cálcica (Ca <sup>2+</sup> ) presente en el agua.....	41
3. Dureza Magnésica (Mg <sup>2+</sup> ) presente en el agua.....	42
4. Dureza total (CaCO <sub>3</sub> ) presente en la salmuera.....	44
5. Dureza cálcica (Ca <sup>2+</sup> ) presente en la salmuera.....	45
6. Dureza Magnésica (Mg <sup>2+</sup> ) presente en la salmuera.....	47
7. Comparación de los iones Ca <sup>2+</sup> y Mg <sup>2+</sup> con la norma COVENIN 79:1995.....	49

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA PARA LA  
SUAVIZACIÓN DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA  
UBICADOS EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTO DE LA EMPRESA  
AVICOLA LA GUASIMA, C.A.**

**Autor:** Raymond Castillo

**Tutor:** Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

**Fecha:** Diciembre, 2018

**RESUMEN**

Una caldera de vapor, dada su complejidad, gran precisión y confiabilidad con que debe ejecutar su función, requiere de un tipo de mantenimiento especializado y con una alta eficiencia. Así mismo, se requiere de un control dirigido a la composición química del agua que fluyen al tanque de alimentación de la caldera, puesto que de tener una alta presencia de minerales como son el magnesio y calcio, se puede generar una película de incrustaciones que reducen la transferencia de calor entre los vapores de combustión en el cuerpo de la caldera dirigidas al agua que fluye a través de los tubos. En la actualidad el equipo suavizador del agua de una de las calderas, marca Cleaver Brook de 1000 HP de la Planta de Subproductos de la Guásima, está dañado. Observándose un aumento en la formación de incrustaciones en el interior de los tubos de la caldera. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo proponer la evaluación de la disponibilidad del sistema para la suavización de agua de alimentación de la caldera ubicada en la planta de subproducto de la empresa avícola la Guásima, c.a

**Descriptores:** Criticidad, Prioridad, Mantenimiento, Sistema, Subsistema,  
Componente, partes

## **INTRUDUCCIÓN**

Avícola La Guásima, C.A. es una compañía nacional dedicada a la producción de alimentos y a la nutrición de personas alrededor del territorio nacional, a través de la crianza, beneficio y venta de pollo de primera. Como en la mayoría de los casos hoy en día Avícola La Guásima emplea dentro de sus instalaciones equipos los cuales requieren el empleo de vapor para su funcionamiento. Este documento tiene la finalidad de informar los resultados de la evaluación realizada al sistema de tratamiento de agua, enfocándose en la suavización del agua que va dirigida a la caldera de vapor

Los Suavizadores o Ablandadores de Agua son equipos que forman parte de la red de tratamiento en el agua de alimentación de la calderas; los cuales su objetivo es la eliminación de la dureza del agua, causada por las sales de calcio y magnesio al ser intercambiadas estas por sales de sodio, que no se incrustan ni depositan. Es por ello que la presente investigación tiene como objetico realizar una propuesta para la disponibilidad del sistema para la suavización de agua para alimentación de una caldera ubicados en la planta de subproducto de la empresa avícola la guásima, c.a.

Este informe ha sido dividido en cinco capítulos:

Capítulo I se da a conocer la Empresa donde se lleva a cabo el estudio. El capítulo II se describe la problemática y se plantea el objetivo general de la asesoría y los objetivos específicos derivados del anterior. En el capítulo III denominado Marco Teórico, se manejan los conceptos en los cuales se desarrolló el sistema de información, dentro del cual se inserta esta asesoría. En el capítulo IV se muestra el trabajo desarrollado, describiendo la metodología. Finalmente, el capítulo V Resultados

## **CAPÍTULO I**

### **LA EMPRESA**

La historia de Avícola La Guásima, C.A, empieza en el año 1967, cuando entró en funcionamiento bajo la razón social de Empacadora Avícola Carabobo. En esa oportunidad sólo se dedicaban a la cría y al beneficio de las aves. Ya para ese entonces, se observaba que la ciudad de Valencia estaba destinada a convertirse en la zona industrial de mayor importancia en Venezuela, así como un mercado creciente de pollos y huevos de consumo. Este mercado potencial justificó aumentar la capacidad de producción de la planta y así enfrentar las necesidades del desarrollo.

Seguidamente a raíz de este crecimiento, se crea la empresa Avícola La Guasima, C.A., en el año 1979, destinada a la producción de alimentos para el consumo humano, entre los cuales pueden mencionarse: pollos de primera, pollos deshuesados, huevos de consumo. Actualmente es una de las empresas líderes en el mercado avícola, contando con puntos de distribución en las regiones de Oriente, Occidente y Centro del país. Para el proceso operativo cuenta con un grupo de granjas propias, asociadas y contratadas, distribuidas en todo el territorio nacional las cuales se encargan del proceso de crianza, levante y reproducción de pollos Actualmente, en la empresa Avícola la Guasima, C.A. funcionan la Planta de Beneficio, Planta de Alimento, Planta Frío, Almacenes, Talleres, Transportes, Oficinas Administrativas y de Ventas.

En la empresa Avícola La Guasima, C.A. laboran 1500 trabajadores directos, que se rigen por normas y procedimientos establecidos para cada una de las actividades y funciones que se realizan en la empresa.

#### **1.1 Ubicación**

Avícola La Guasima C.A. se encuentra ubicada en la Carretera Vieja de Tocuyito, frente a la Urbanización Villa Jardín, Municipio Libertador, Valencia Edo. Carabobo

## **1.2 Características y Proceso que cubre.**

La avicultura en Venezuela, se realiza con un alto nivel gremial, por lo que la producción avícola se efectúa generalmente mediante sistemas de producción integrado que responde a un modo de integración vertical de los procesos. El grado de integración es variable en las empresas según las etapas que controlan directamente (abuelas, reproductoras, incubación, engorde fabricación de alimento, beneficio de aves etc.)

Durante la etapa de producción las empresas integradoras controlan el servicio de los productores extranjeros. Estas empresas suministran las aves, el alimento y la asistencia técnica. Por su parte el granjero aporta las instalaciones para la producción, la mano de obra eléctrica y calefacción; convirtiéndose este sector en uno de los más dinámicos dentro del sector agropecuario.

El proceso de Avícola La Guasima, C.A., comienza cuando las gallinas abuelas son importadas desde Escocia, llegan a la empresa llamada Proken que está ubicada en el estado Falcón. Luego las mismas ponen huevos, que son llamados huevos fértiles ya que son aptos para incubar. Pasan a una etapa de cría en una incubadora y después 19 días en proceso y 2 días en incubación en las nacedoras, se obtienen dos líneas hembras y machos que son enviados a las granjas reproductoras.

Las granjas reproductoras, son las encargadas de recibir desde la Proken las líneas hembras, machos. Las mismas son criadas en estas granjas donde cumplen dos procesos que son levante; producción, donde consumen alimentos, medicamentos, vitaminas, etc.

**El proceso de Levante:** Tiene una etapa de cría que dura desde cero a veinticuatro semanas dándoles alimentos y medicamentos. También se crían por separado las hembras de los machos, son criados en diferentes galpones con el fin de llevar un mejor control en el consumo de alimentos. En esta etapa debe cumplirse una serie de especificaciones para decir que el lote es uniforme, utilizando un programa

de vacuna para proteger el ave y los huevos de esta, se debe cumplir con medidas extremas de bioseguridad.

**La Producción:** Comienza según los huevos que son enviados a la incubadora, es decir los gallos y gallinas reproductoras que tiene una etapa de cría que dura entre veinticinco a sesenta semanas. Las aves se estimulan a través de luz que penetran por su ojito ocular estimulando sus órganos de producción y las gallinas comienzan en su proceso de ovulación.

**Los Pollitos Bebé:** Son huevos que provienen de las granjas reproductoras, vacunados con vitaminas, pasando a las granjas de engorde y que como su nombre lo indica son las que los alimentan para engordar, luego se envían a la planta beneficio, para salir a la distribución (Venta y Mercado)

### **1.3 Misión**

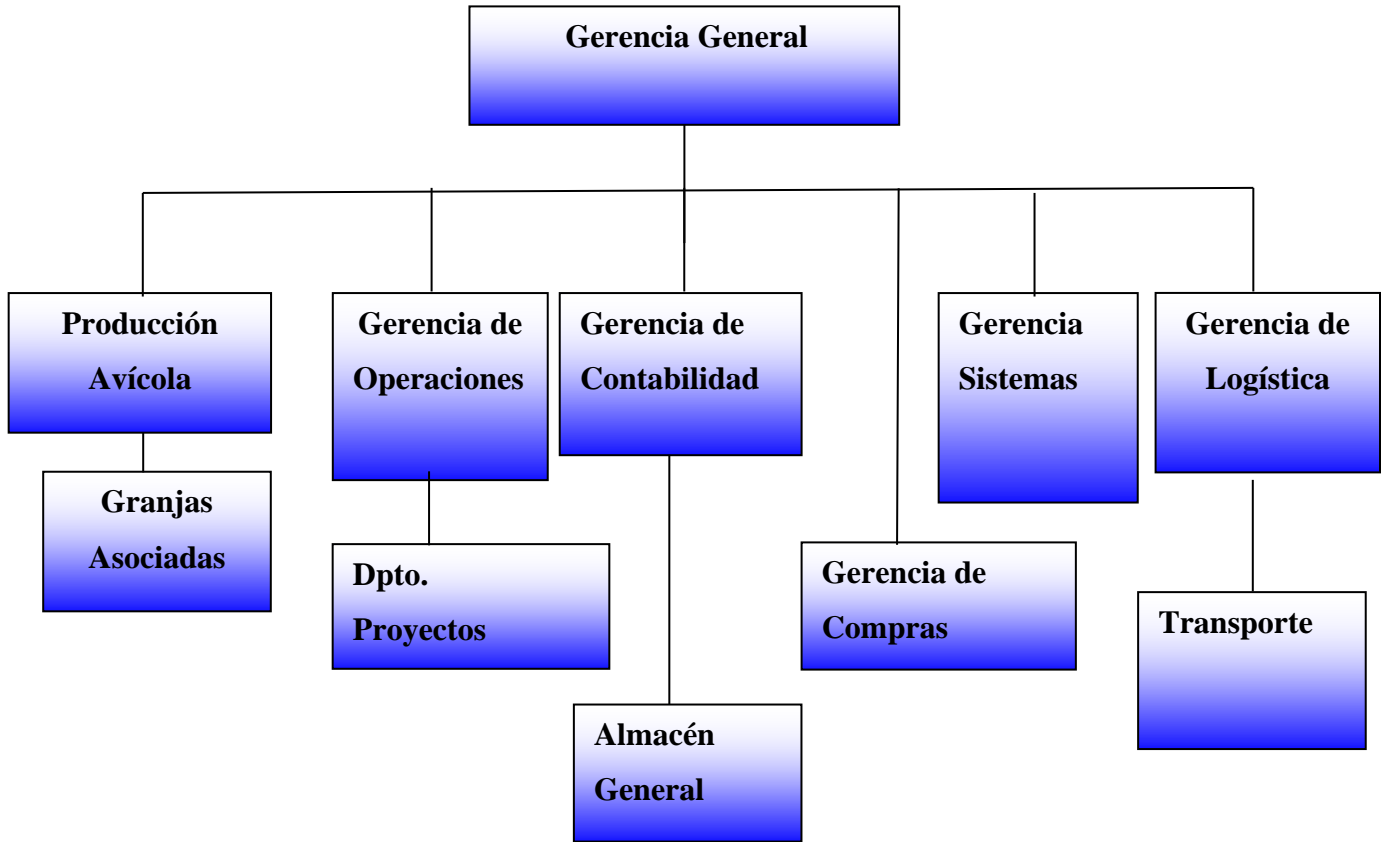
“Liderizar la producción y comercialización de pollos enteros beneficiados de las más alta calidad en sus diversas presentaciones para satisfacer las necesidades de nuestros clientes, creando un equipo de trabajo participativo, capacitado y altamente motivado”.

### **1.4 Visión**

“Prevalecer activamente en el mercado de producción agrícola, apoyándose en la búsqueda constante de innovación científica y tecnológica, para ofrecer productos de la más alta calidad a nuestros clientes”

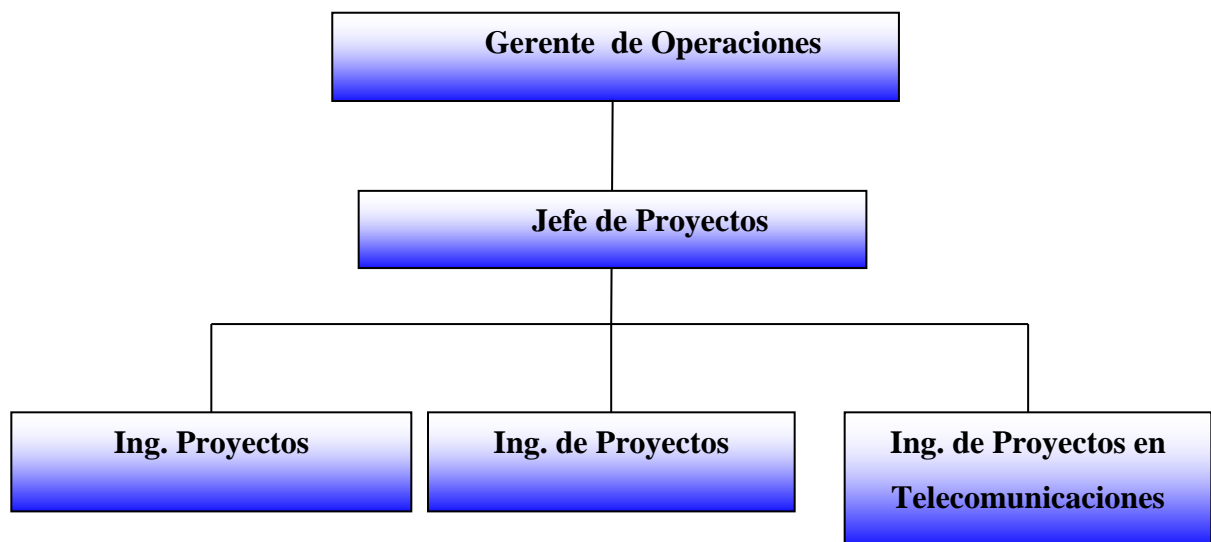
### **1.5 Objetivos**

- Calidad en sus diversas presentaciones para satisfacer las necesidades de nuestros clientes.
- Mantener un equipo de trabajo participativo, capacitado y altamente motivado.
- Especial atención en las relaciones humanas que deben existir entre el personal que conforman el equipo de producción y ventas. (Ver Figura 1 y 2).



**Figura 1.** Organigrama General de la Empresa Avícola La Guasima, C.A.

**Fuente:** Recursos Humanos, (2008).



**Figura 2.** Organigrama del Departamento de Proyectos de la empresa Avícola La Guasima, C.A.

**Fuente:** Recursos Humanos, (2008).

## **1.6 Características del Departamento donde se realizó la Pasantía**

**Jefe de Proyectos:** Se encarga de supervisar, dirigir y controlar proyectos de inversión en todas las empresas del grupo Avícola La Guasima, C.A, con la finalidad de que sean ejecutados con calidad, en el tiempo establecido y con los recursos asignados, cumpliendo los lineamientos del Departamento de acuerdo con las políticas, normas y procedimientos establecidos por la organización.

### **Ingeniero de Proyectos:**

1. Investigar y diseñar aspectos técnicos en el desarrollo de nuevos proyectos.
2. Supervisar, inspeccionar y facilitar la ejecución de las actividades de los proyectos.
3. Elaborar requisiciones y solicitudes de compra de materiales y recursos necesarios para la ejecución de los proyectos.
4. Informar al Supervisor inmediato el avance de los proyectos a través de informes escritos o vía correo electrónico.
5. Atender las inspecciones gubernamentales para verificar las inversiones realizadas en la ejecución del proyecto.
6. Atender proveedores, contratistas e inspectores inherentes a los proyectos.
7. Apoyar en los requerimientos técnicos y operacionales al Departamento de Mantenimiento y Producción.
8. Investigar sobre equipos y materiales concernientes al proyecto.
9. Revisar valuaciones de los contratistas sobre obras ejecutadas.
10. Solucionar problemas relativos al proyecto.
11. Cumplir permanentemente con las normas y reglas de seguridad y salud laboral.

12. Velar por el buen uso y resguardo de los recursos, sitios de trabajo, equipos y herramientas de trabajo asignadas.
13. Cumplir con las normas y procedimientos establecidos en la empresa.
14. Cumplir con el uso de los equipos de protección personal.
15. Realizar cualquier otra actividad inherente al cargo.

**Ingeniero de Proyectos en Telecomunicaciones:**

1. Diseñar, planificar, gestionar y explotar servicios de Telecomunicación.
2. Plantear y explotar sistemas y redes de comunicación por fibra óptica, por cable y por satélite.
3. Diseñar elementos y sistemas de comunicación.
4. Crear, implementar y gestionar aplicaciones telemáticas.
5. Realizar labores de investigación y desarrollo, dentro de su campo de actividad.

## **CAPÍTULO II**

### **EL PROBLEMA**

#### **2.1 Planteamiento del problema**

El vapor no es una energía del pasado, su uso sigue vigente en un sector tan estratégico como el de la generación de energía eléctrica. Por otra parte, la aplicación del vapor como fuente de energía no sólo ha supuesto el advenimiento de la Revolución Industrial, sino que también generó el rápido desarrollo de los transportes, tanto terrestres como marítimos, una evolución que hizo al mundo cada vez más pequeño y accesible. Con el incremento de la producción, la mejora de la precisión y la calidad, se redujeron no sólo los costes de fabricación de un producto sino también los de su transporte, lo cual condujo a una reducción del coste total y de su precio.

El vapor es una fuente de energía que ha venido evolucionando con el pasar de los tiempos desde el tren de vapor hasta grandes corporaciones, hoy en día tener una buena calidad de vapor es indispensable para cumplir con los estándares de calidad que exijan los procesos productivos, de igual manera mantener en buen estado los componentes que suministren esta vital fuente de energía, como toda la infraestructura tanto como su sistema de alimentación, su sistema de paso de vapor, hasta su secciones de purgas.

La Caldera se puede considerar el corazón de todos los sistemas de vapor. Son artefactos generadores de calor, los mismos se conducen en forma de agua o vapor. Una caldera de vapor, dada su complejidad, la gran precisión y confiabilidad con que debe ejecutar su función, requiere de un tipo de mantenimiento especializado y con una alta eficiencia. Es también considerable el factor de seguridad con que se debe actuar en una caldera de vapor por los riesgos que implica la manipulación del vapor a altas presiones y temperaturas.

Al ser un equipo tan complejo es de esperar que requiera una alta preparación en cada una de sus etapas para que este funcione con la mayor eficiencia posible, por ello es indispensable que a la hora de enfocarnos en su alimentación se requiera un arreglo para la preparación del agua que alimenta a la caldera.

Así mismo se requiere un control dirigido a la composición química del agua que fluyen al tanque de alimentación de la caldera, puesto que de tener una alta presencia de minerales como lo son el magnesio y calcio, se puede generar una película de incrustaciones que reducen la transferencia de calor entre los vapores de combustión en el cuerpo de la caldera dirigidas al agua que fluye a través de los tubos.

Con esta premisa iniciamos analizando el problema que presenta en la actualidad la Sala de Caldera ubicada en la Planta de Subproductos, dicha planta consta de dos equipos de Calderas, una de 1000HP y otra de 500HP, al inicio de operación cada equipo constaba con un equipo de Suavizado de agua que trataba de manera individual el agua que ingresaba a cada caldera hasta a mediados de octubre de 2017 el suavizador de agua correspondiente a la caldera marca Cleaver Brooks de 1000HP (Ver Anexo E) dejó de realizar su trabajo debidamente, entonces se hizo un arreglo donde ambas calderas dependían del equipo suavizador perteneciente a la caldera de 500HP, más adelante se realizó una auditoría a la caldera de 1000HP en la cual se observó un aumento en la formación de incrustaciones en el interior de los tubos de la caldera. Lo cual se puede traducir en la disminución en la calidad de vapor generado por la caldera y a su vez la posible reducción en su vida útil.

## **2.2 Formulación del problema**

Teniendo identificado el problema, se presenta la siguiente interrogante ¿Cómo evitar el paso de Agua Dura con componente dañinos a la Caldera de 1000 HP?

## **2.3 Objetivos de la investigación**

### **2.3.1 Objetivo general**

Proponer la evaluación de la disponibilidad del sistema para la suavización de agua para alimentación de una caldera ubicados en la planta de subproducto de la empresa avícola la guásima, c.a.

### **2.3.2Objetivos específico**

- Analizar las razones de falla del equipo
- Definir los parámetros a controlar por el equipo.
- Estudiar la línea de Alimentación
- Registrar el trabajo de tratamiento de Agua

### **2.4 Justificación de la investigación.**

Los Datos obtenidos en la presente investigación servirán para guardar registro del equipo en estudio y permitirá llegar a una conclusión más veloz si se llegasen a repetir las fallas existentes.

También funcionara como un estudio para validar la mejora en las líneas de alimentación a la caldera con la integración de nuevos equipos y remplazo de secciones con mala funcionalidad, además aportara una reducción es gastos para la empresa debido a que reducirá el mantenimiento correctivo de manera constante por efecto del desgaste por la corrosión.

Cabe destacar que el presente trabajo permite al estudiante conocer cómo se estudia y se lleva a cabo la ejecución de una mejora en una sección en la planta y la metodología que se debe manejar para la documentación.

### **2.5 Alcance**

La presente investigación abarco la propuesta de una mejora tanto del sistema de flujo de agua dirigidos a los equipos Suavizadores de agua como posible mejora de dichos equipos todo con el fin de la reducción de incrustaciones de calcio que se generan en el interior de la caldera de vapor.

Es importante resaltar que la aplicación de las mejoras, no está contemplada dentro del proyecto, ya que es decisión será tomada por la empresa Avícola La Guasima, C.A.

## **2.6 Limitaciones**

El tiempo de investigación está establecido en 8 meses, sin embargo, en el transcurso de la investigación pueden surgir nuevas variables provenientes de ideas consolidadas y derivadas de la propuesta de solución que se adopte que pueden extender este período de investigación.

## CAPÍTULO III

### FUNDAMENTO TEÓRICO

Según (Sabino, 1992), afirma que el “el planteamiento de una investigación no puede realizarse si no se hace explícito aquello que nos proponemos a conocer, es siempre necesario distinguir entre lo que se sabe y lo que no se sabe con respecto a un tema para definir claramente el problema que se va a investigar”.

#### 3.1 Antecedentes

Como principal antecedente bibliográfico se encuentra la investigación realizada por Cervantes. L (2015), egresado de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, quien condujo una investigación titulada **Diseño y Construcción de un Ablandador de Agua Mediante el Empleo de Resinas de Intercambio Iónico para Abastecer los Equipos Térmicos del Laboratorio de Termodinámica**, donde se indica como La dureza del agua es la causante de que sistemas de generación de vapor, intercambiadores de calor, sistemas de bombeo de agua entre otros sufran daños y taponamiento de sus partes a causa de las calcificaciones que se incrustan y tapan las tuberías y partes internas de los sistemas. Es sumamente beneficioso para el desarrollo del presente proyecto, debido a que la propuesta realizada tiene mucha relación con la propuesta presentada, por lo que supone una herramienta de gran utilidad.

Adicionalmente se encuentra la investigación realizada por Francilee, D. (2013), de la Universidad Rafael Urdaneta, con la investigación titulada **Propuesta de Mejora del Proceso de Lavado de la Sal Bruta de la Empresa Alesca**, que tenía como propósito disminuir la concentración de los iones  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  en la sal, estas consisten en una serie de tratamientos entre los cuales se pueden mencionar para tal fin la precipitación química. debido a deficiencias en la regeneración de resinas de intercambio iónico, su regeneración debe realizarse más a menudo del tiempo

estimado originalmente, las causas de este problema son la presencia de elevados índices de iones calcio y magnesio presentes en la sal bruta destinada a la regeneración de resinas de intercambio iónico, estos fallos generalmente ocurren en empresas de este tipo debido a la falta de caracterizaciones que determinen la situación real de sus procesos, o simplemente debido a que la sal adquirida no posee valores de dureza constantes

Por último, Santiago, J. (2016), miembro de Comunidad de Madrid, realizó una investigación titulada **“El Agua en las Calderas de Vapor”** dicha investigación se realizó con el fin de poner en manifiesto la importancia que tiene el tratamiento del agua en la vida útil, el rendimiento y la seguridad en la operación de calderas industriales.

El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y del agua de caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas que definen los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Vapor**

El vapor es el conductor más eficiente de energía de calefacción, es versátil, seguro y completamente estéril. El uso eficiente del vapor requiere de un control preciso, utilizando un equipo confiable.

El uso eficiente del vapor, conlleva a un ahorro importante por concepto de generación de vapor y reposición de accesorios, una planta más productiva y a un ambiente de trabajo más seguro.

El vapor de agua es el gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso. A un nivel molecular esto es cuando las moléculas de H<sub>2</sub>O logran liberarse de las uniones que las mantienen juntas. En el agua líquida, las moléculas de H<sub>2</sub>O están siendo unidas y separadas constantemente. Sin embargo, al calentar las moléculas de agua, las uniones que conectan a las moléculas comienzan a romperse

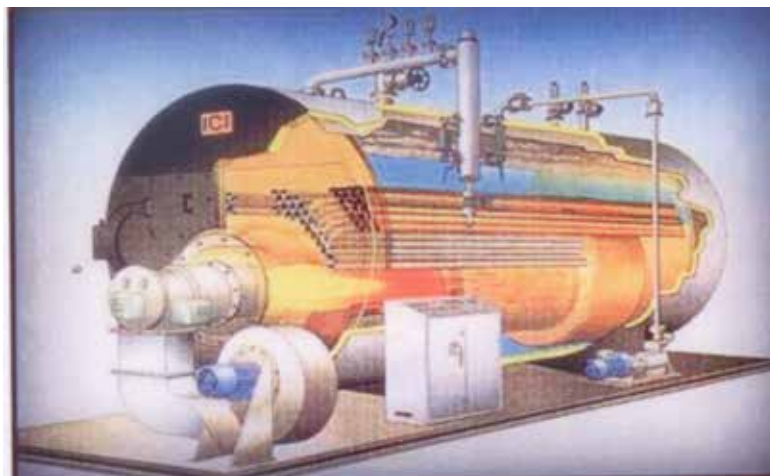
más rápido de lo que pueden formarse. Eventualmente, cuando suficiente calor es suministrado, algunas moléculas se romperán libremente.

### **3.2.2La Caldera**

Se puede definir una caldera de vapor como todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, a través de un medio de transporte, en este caso, vapor de agua. El principio fundamental detrás de la operación de una caldera de vapor consiste en que el agua es calentada hasta su punto de ebullición y se produce vapor. El principio de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor.

Fundamentalmente son dos tipos de calderas de vapor que normalmente suelen utilizarse:

- Calderas Pirotubulares. Se pueden explicar cómo cilindro compacto de agua, atravesado longitudinalmente por un haz de tubos por los que circulan la llama y/o los humos. Lógicamente, los humos y la llama pasaran por el interior de los tubos de acero, los cuales estarán rodeador de agua. (Ver Figura 3).



**Figura 3.** Caldera Pirotubular

**Fuente:** Auditoria VaporTec (2017)

- Calderas Acutubulares. El agua está en parte o casi toda contenida en haces de tubos de acero rodeados por la llama y los gases calientes de la combustión.

### **3.2.3 Agua de Alimentación**

Para remplazar el agua que ha sido convertida en vapor por la caldera es necesario suministrar agua de reposición, pero esta agua de alimentación debe ser convenientemente tratada, por lo que la dureza y los gases disueltos en el agua deben ser totalmente eliminados, de lo contrario pudiera causar los problemas tales como:

- Corrosión
- Formación de burbujas de aire
- Formación de incrustaciones de Calcio

Para luchar contra los inconvenientes reseñados en los apartados anteriores, deben acometerse intervenciones en los distintos puntos del proceso, en concreto:

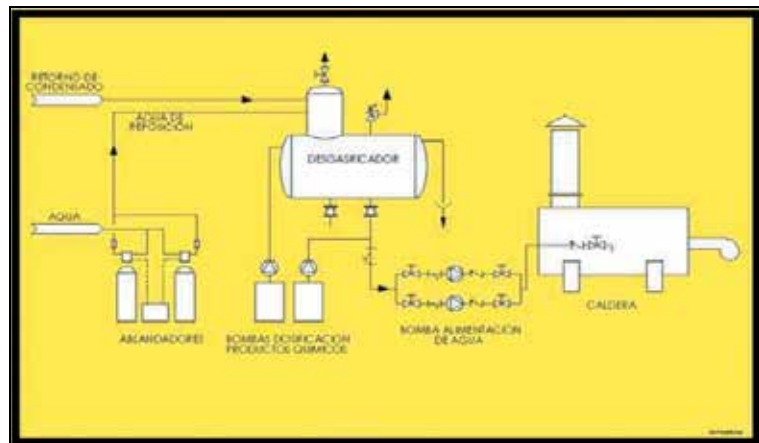
- Tratar el agua de aportación para eliminar aquellos elementos químicos del agua que son perjudiciales.

- Tratamiento interno del agua de caldera.
- Tratamiento de los condensados que son conducidos de retorno a las calderas.
- Control de las purgas para eliminar precipitados e iones en la caldera.

### 3.2.4 Tratamiento físico-químico del agua de aportación

Los diferentes tipos de tratamiento generalmente utilizados, en función de los resultados que se pretenden obtener sobre el agua de aportación son los siguientes (Ver Figura 4):

- Clarificación.
- Desendurecimiento.
- Descarbonatación.
- Desmineralización.
- Desgasificación



**Figura 4.** Esquema del Tratamiento de la Alimentación de Agua a Calderas de Vapor

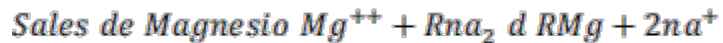
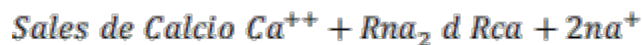
**Fuente:** Guía de Calderas (2013)

### 3.2.4.1 Clarificación

El tratamiento de clarificación puede reducirse a una simple filtración que tiene por objeto retener sobre un soporte las materias minerales u orgánicas contenidas en el agua bruta.

### 3.2.4.2 Desendurecimiento por intercambio iónico

Este proceso tiene por objeto la eliminación de toda la dureza del agua sustituyendo las sales de calcio y magnesio por sales de sodio no incrustantes. Se utiliza para ello resinas de intercambio iónico en ciclo sodio ( $RNa_2$ ) donde la movilidad de los iones sodio permite las reacciones siguientes:



A la salida del ablandador la dureza total del agua (TH) es prácticamente nulo.

Cuando la resina está saturada en iones de calcio y magnesio, es necesario regenerarla. Esta regeneración se hace simplemente haciendo pasar una solución saturada de cloruro de sodio o salmuera.

Después de un lavado, la resina queda de nuevo en condiciones de sustituir el sodio por el calcio y magnesio

El interés del desendurecimiento está en que elimina totalmente la dureza de un agua y, por tanto, los riesgos de la incrustación.

### 3.2.4.3 Descarbonatación por resinas carboxílicas

La descarbonatación tiene por objeto eliminar la dureza bicarbonatada cálcica y magnésica (dureza temporal o TAC).

Las resinas carboxílicas cuya forma es del tipo R-COOH tienen la ventaja de no poder intercambiar sus iones de hidrógeno nada más que con cationes ligados a aniones débiles. Se trata de una permutación selectiva en la que interviene la parte bicarbonatada del agua. Cuando la resina está saturada se regenera con ácido.

#### **3.2.4.4 Desmineralización total por intercambio iónico**

Este proceso de tratamiento de agua tiene por objeto eliminar la totalidad de las sales disueltas mediante el paso del agua a través de dos tipos diferentes de resinas de intercambio iónico: catiónica fuerte y aniónica fuerte, fundamentalmente.

Las resinas catiónicas fuertes en ciclo ácido (RH) permiten sustituir los cationes calcio, magnesio y sodio.

Posteriormente, el agua pasa a través de una resina aniónica fuerte en ciclo básico lo que permite sustituir los aniones sulfato, cloruro, bicarbonato y nitrato, por el anión básico OH, resultando el agua desmineralizada.

La desmineralización total del agua se emplea generalmente en calderas de media y alta presión, calderas de vaporización instantánea y en los casos donde debido a la excesiva mineralización del agua sea necesario reducir la salinidad total con objeto de limitar el valor de las purgas de desconcentración.

#### **3.2.4.5 El Desaireador**

Es un dispositivo mecánico cuya función es la de separar y remover los gases disueltos en el agua de alimentación de la caldera. Este proceso protege a los dispositivos de vapor de los efectos de los gases corrosivos, ya que se eliminan las partículas de oxígeno, dióxido de carbono y otros gases disueltos en el agua minimizando así la corrosión en el sistema de vapor.

#### **3.2.5 Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)**

Las principales sustancias contenidas en las aguas naturales o aguas brutas son las sales de calcio y magnesio, normalmente bicarbonatos y sulfatos. Para caracterizar un agua se definen tres tipos de dureza:

1. La dureza total del agua, que es la cantidad total de calcio y magnesio disuelto
2. La dureza permanente, que representa la cantidad de sales de calcio y magnesio que subsisten en el agua después de una ebullición prolongada.
3. La dureza temporal o transitoria del agua, que está constituida por las sales que han precipitado durante la ebullición.

Para medir la dureza se emplea como unidad el grado de dureza o grado hidrotimétrico.

Cuando el agua bruta se somete a algún tratamiento para eliminar el calcio y el magnesio, se dice que el agua ha sido ablandada y es apta para emplearla como agua de alimentación.

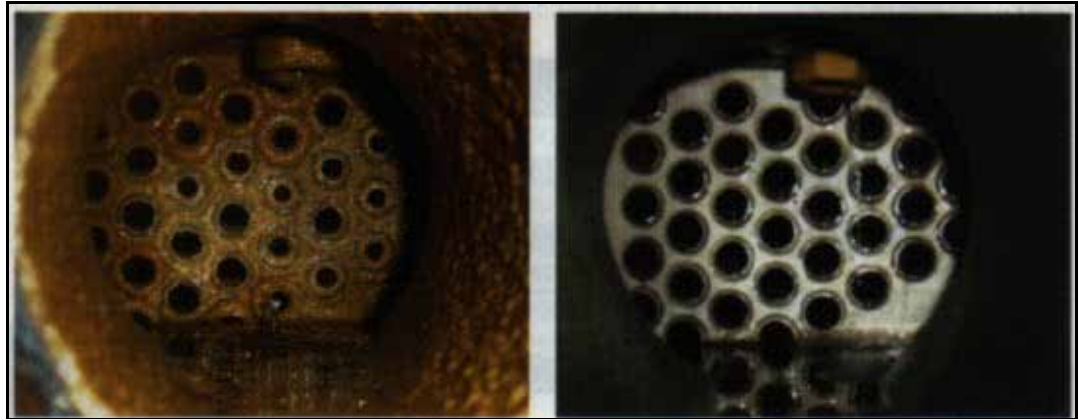
### **3.2.6 Incrustaciones**

Las incrustaciones cristalinas y duras se forman directamente sobre la superficie de calefacción por cristalización de las sales en disolución saturadas presentes en el agua de la caldera. Están constituidas, esencialmente, por elementos cuya solubilidad decrece al aumentar la temperatura del agua y son, generalmente, carbonato de calcio, de magnesio y de aluminio, entre otros.

Las incrustaciones, además de obstaculizar el paso del agua en las tuberías, reducen considerablemente la eficiencia energética de los calderos e intercambiadores de calor lo cual es muy grave debido a que la baja conductividad térmica de las incrustaciones actúa como aislante térmico, provocando problemas de refrigeración en las superficies metálicas y puede llegar a causar daños por sobrecalentamiento.

Las incrustaciones son peligrosas porque su conductividad térmica es pequeña. Estas incrustaciones afectan al rendimiento térmico de las calderas y producen un recalentamiento importante en el metal expuesto a la llama. Esto se traduce en

corrosiones, hinchamientos y explosiones, cuyas consecuencias pueden ser graves. (Ver Figura 5).



**Figura 5.** Incrustaciones dentro de una Caldera de Vapor

**Fuente:** Auditoria VaporTec (2017)

Por otro lado la reducción de la eficiencia térmica de un caldero repercute directamente sobre los costos de producción de la industria debido a las incrustaciones existentes, porque para tratar de compensar esa pérdida de calor en muchos casos se eleva el consumo de combustible lo cual se traduce en dinero, es decir, en un mismo tiempo  $t$ , se quema más combustible para obtener un  $Q$  deseado; a continuación se puede visualizar incrustaciones al interior de una caldera.

Las incrustaciones también se forman en el agua fría debido a la influencia de otros factores como el pH, gas carbónico disuelto y combinado.

La corrosión se produce por el oxígeno disuelto en el agua, por el dióxido de carbono. El ataque químico comienza en la superficie y se propaga hacia el interior. Diferentes zonas de la superficie metálica actúan como ánodo y cátodo. Los iones metálicos por difusión a través de la matriz metálica se oxidan en la zona anódica y los electrones, difundidos de igual modo, reaccionan en el oxígeno disuelto en la zona catódica.

El resultado de la corrosión es la pérdida de espesor y de cualidades mecánicas así como el desprendimiento de material que puede acumularse en ciertos puntos de la instalación.

En caldera y ciclo agua-vapor, las partes más afectadas de la instalación serán las partes “frías”, es decir circuito de alimentación y economizadores, ya que en las partes calientes se forma de manera natural una capa superficial de óxido de hierro denominado magnetita, que impide que la oxidación progrese al interior del metal, formando así una capa protectora. Sin embargo estas partes calientes si se verán afectadas por los desprendimientos de las partes frías

### **3.2.7 Suavizador de Agua**

El ablandador o suavizador de agua es una unidad diseñada para eliminar los iones de calcio y magnesio de un volumen determinado, en un tiempo definido; es un equipo que por medios mecánicos, químicos y/o electrónicos trata el agua para reducir el contenido de sales minerales y sus incrustaciones en tuberías y depósitos de agua.

### **3.2.8 Tipos de Suavizadores**

Existen diversos tipos de ablandadores así como varias maneras de clasificarlos, en este caso según el tipo de procesos que realizan para la eliminación de las sales minerales; se los puede clasificar en catalíticos, químicos, mecánicos y eléctricos.

#### **3.2.8.1 Suavizadores Catalíticos**

Son dispositivos de tratamiento de aguas, diseñados para evitar la formación de incrustaciones calcáreas; se compone de un tubo de acero inoxidable con un núcleo de aleación especial en su interior, el principio de funcionamiento consiste en generar turbulencias y cambios de presión en el agua, esto hace que se precipite el carbonato de calcio por una modificación en el pH del agua, haciendo que los cristales de calcio disminuyan su tamaño sin la posibilidad de precipitarse y por ende no forman sarro ni incrustaciones, el equipo actúa como un catalizador.

De esta forma, que las partículas formadas no tienen posibilidad de depositarse y formar incrustaciones ni de aglutinarse entre ellos por lo que son arrastrados por el flujo de agua pasando inofensivamente por equipos y cañerías, teniendo el efecto secundario de desincrustar los depósitos de sarro ya formados.

### **3.2.8.2 Suavizadores Mecánicos**

Su principio de funcionamiento consiste en aplicar presión y utilizar una membrana semipermeable, el agua pura atraviesa la membrana y deja atrás todas las partículas minerales e impurezas. Por lo general estos equipos son diseñados para tratar agua destinada al consumo humano, tienen una baja capacidad de producción y las membranas requieren ser limpiadas con frecuencia lo cual los hace poco prácticos para determinadas aplicaciones.

### **3.2.8.3 Suavizadores Químicos**

Este tipo de ablandadores están compuestos de un lecho de zeolita (un compuesto químico de sales de sodio o potasio) por el cual se hace circular el agua a ser tratada. Los iones de calcio y magnesio son reemplazados por iones de sodio, el potasio o sodio liberado no se adhiere a las paredes de las tuberías ni reacciona con el jabón; solucionando ambos problemas. (ver figura 6)

Después de un tiempo el sodio es reemplazado completamente por calcio o magnesio y deja de suavizar el agua. En este momento es necesario reemplazar el cartucho o las pastillas de zeolita por unas nuevas.



## **Figura 6.** Suavizadores Time Clock Duplex

**Fuente:** Manual de Suavizadores

### **3.3 Definición de Términos**

**Resina Catiónica:** Elimina los cationes del agua y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente ácido clorhídrico (HCl). El principal uso es esta resina de intercambio iónico es la descalcificación y ablandamiento de agua para reducir la carga iónica sobre el lecho catiónico.

**Corrosión:** Es el desgaste superficial que sufren las tuberías como consecuencia de las reacciones químicas y electroquímicas entre el material de las tuberías y el agua. Está no sólo depende del tipo de aguas (duras, blandas, salinas, etc.), sino también del material del que están hechas las tuberías.

**Dureza:** Es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

**EDTA:** El ácido etilendiaminotetraacético, también denominado EDTA es una sustancia utilizada como agente cuya función es evitar la toxicidad de los metales pesados.

**Partes por millón (ppm):** Es una unidad de medida con la que se mide la medida concentración. Determina un rango de tolerancia. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.

## **CAPÍTULO IV**

### **FASES METODOLÓGICAS**

En este capítulo se pretende especificar los métodos y medios que fueron utilizados para el finiquito de cada una de las actividades y de toda la investigación en sí. Usando las fases metodológicas que son utilizadas para determinar la continuidad que siguió el autor, se logra tener una secuencia precisa de la elaboración en sí del proyecto.

#### **Fase I: Analizar las razones de falla del equipo**

Haciendo uso del método de entrevista estructurada como base para el inicio de la investigación debido a la falta de material. Esta consistía en ocho preguntas de respuesta afirmativa o negativa con una breve justificación dirigida al operador del área de caldera que manipula los equipos así como al supervisor encargado de la planta de subproducto, siendo un grupo en total de 5 trabajadores. (Ver Anexo A)

Se hizo una revisión en los puntos de salida y entrada de los suavizadores además de las tuberías y el tanque de salmuera destinado para la regeneración.

#### **Fase II: Definir los parámetros a controlar por el equipo**

En esta fase se ubicaron los manuales de los equipos además de los estudios realizados al agua que se maneja y las características de la resina que se manipula, se hizo una tabla comparativa de los datos que estaba establecidos con los datos sugeridos por el proveedor

#### **Fase III: Estudiar la línea de Alimentación**

En esta fase se hizo un estudio de los componentes que pertenecen a los equipos de la línea, estos se enlistaron con el fin de llevar una mejor data a la preexistente (Ver Anexo B). Este estudio se realizó consultando los manuales de

operación de los equipos, y la identificación de las partes de repuesto se logró con la ayuda directa de fabricante de las maquinas en caso de las líneas y en caso de los activos que comprende al área de servicios se obtuvieron con la ayuda del manual del fabricante, todo esto con la finalidad de tener en el sistema todos los componentes que conforman los activos a estudiar junto con el listado de repuestos necesarios para realizar los mantenimiento. (Ver Anexo C)

**Fase IV: Registrar el trabajo de tratamiento de Agua.**

Con la asistencia de los aliados estratégicos durante el proceso se fue generando una data en la cual se registraron las complicaciones que se presentan y los cambios en las variables que se han generado desde su inicio de operación hasta la actualidad.

## CAPÍTULO V

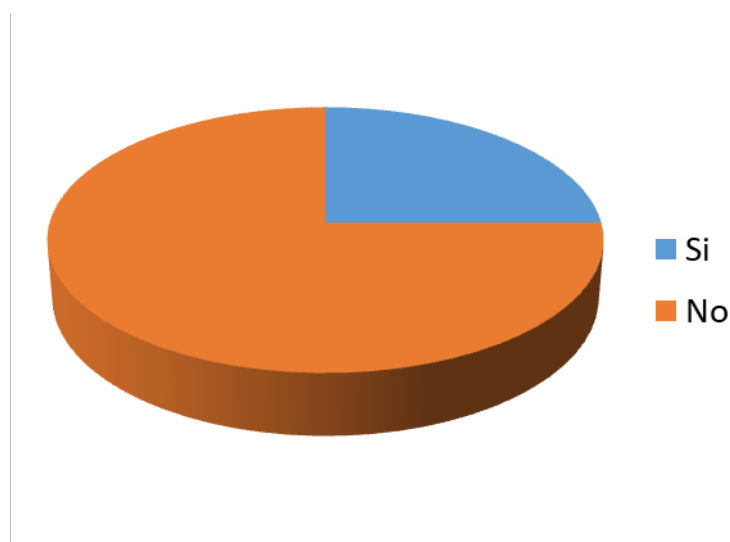
### RESULTADOS

En este capítulo se pretende especificar los métodos y medios que fueron utilizados para el finiquito de cada una de las actividades y de toda la investigación en sí. Usando las fases metodológicas que son utilizadas para determinar la continuidad que siguió el autor, se logra tener una secuencia precisa de la elaboración en sí del proyecto.

#### 5.1 : Analizar las razones de falla del equipo

1. ¿Ha trabajado con anterioridad con un equipo parecido o igual a este?

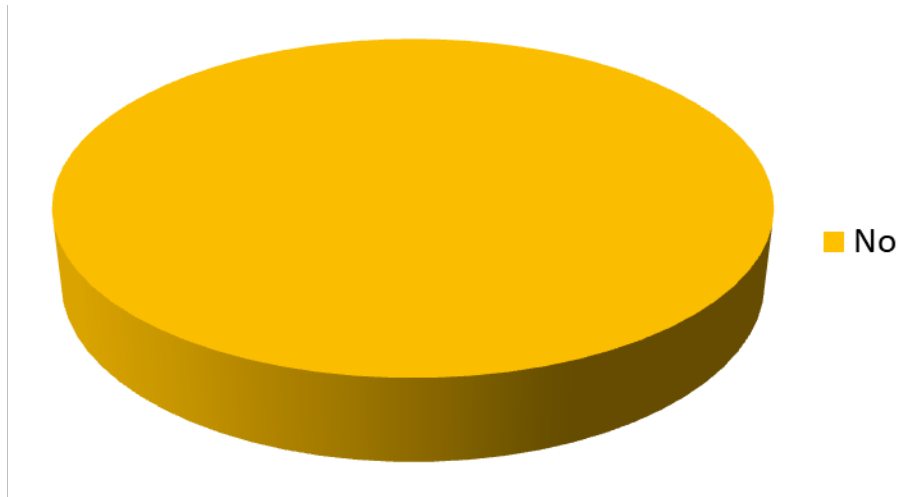
Respuesta



Cuya justificación en general fue que hasta ese momento únicamente se trabajaba con Suavizadores Catalíticos los cuales realizaban su trabajo de manera manual

2. ¿Se le realizó una inducción a la manipulación del equipo?

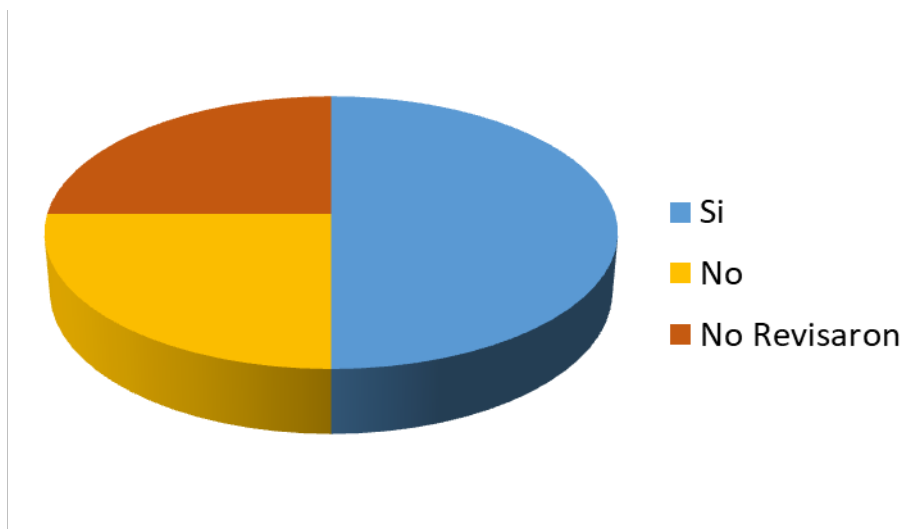
Respuesta:



La respuesta unánime fue No. Los operadores manipulaban según recomendaciones dadas por personal antiguo generadas por experiencias, sin contar con seguridad si el equipo trabajaba de la manera más apropiada

3. ¿Se le suministro algún documento o manual del equipo?

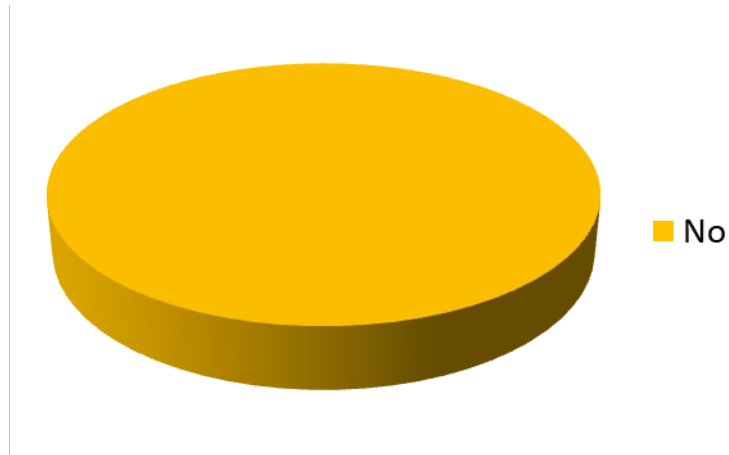
Respuesta



El documento era suministrado a los supervisores del área, algunos lo tenían pero no lo leían, y a los operadores no se les daba ningún archivo relacionado

4. ¿Se le realiza mantenimiento constantemente?

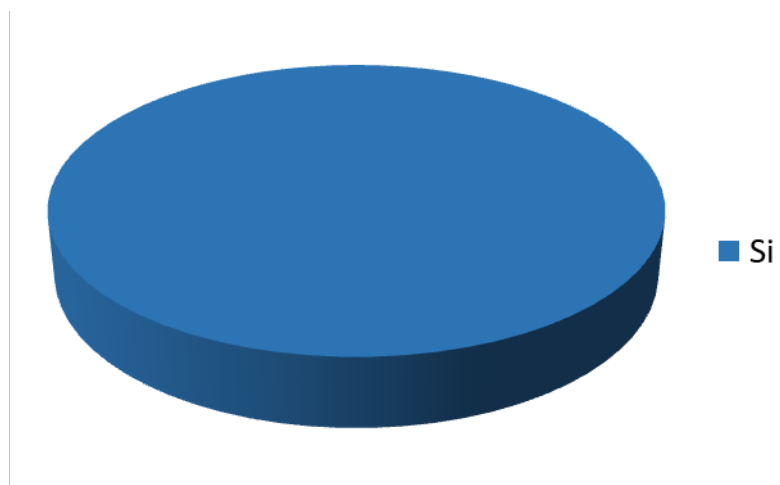
Respuesta



Todo personal en la planta confirmo que el equipo nunca había recibido ninguna revisión y mantenimiento para extender la vida útil del equipo

5. ¿La Línea de Alimentación cuenta con los equipos recomendados?

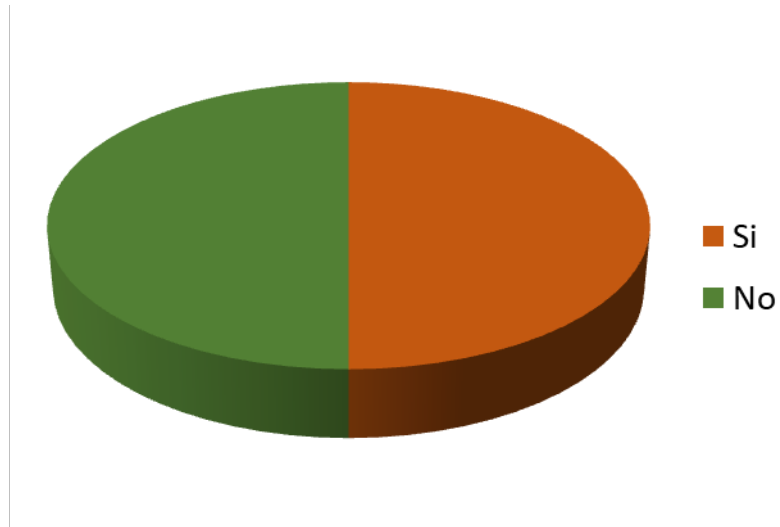
Respuesta



Se confirmó que la línea cuenta con sus respectivos equipos los cuales iniciaba con su fuente de agua, seguido por unos filtros, luego por sus respectivos

suavizadores pasando al tanque de alimentación y concluyendo al equipo de calderas.

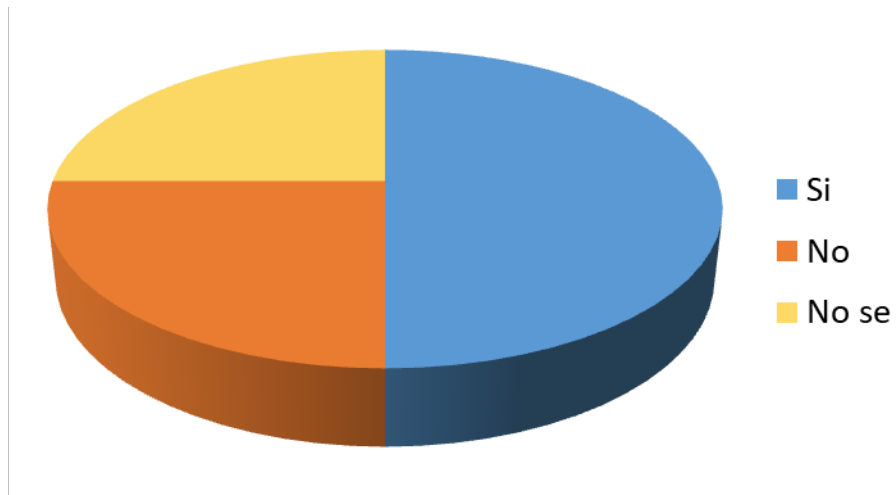
6. ¿Se tiene establecido una cantidad de sal a suministrar?



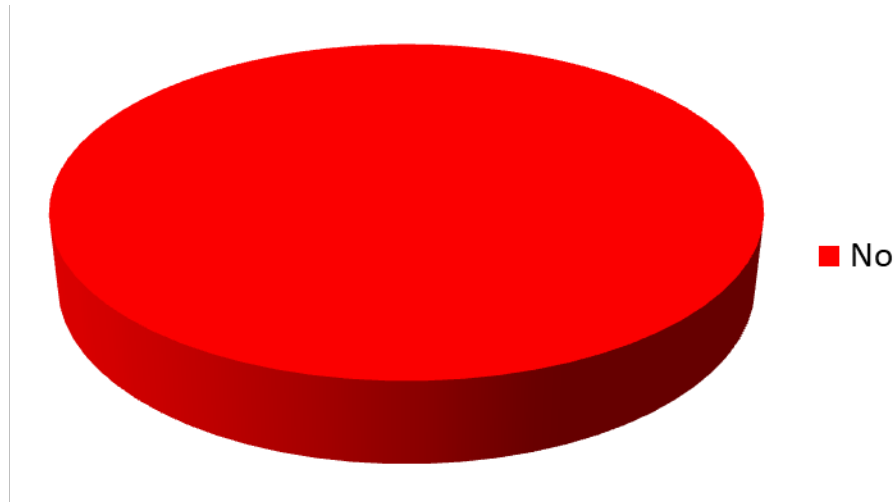
No se tenía definido la cantidad real a suministrar al tanque, únicamente se basaba en una especulación a la cantidad que puede almacenar.

7. ¿Se realiza la regeneración del equipo igual a como inicio los suavizadores desde la primera vez?

Respuesta



8. ¿Se ha realizado un estudio por la falla?



Se optó dejar el equipo sin revisión, y usar el suavizador manual ubicado en la misma área para suplir a las dos Calderas

Al estudiar los accesorios de la línea se identificó que la válvula reguladora que controlaba la apertura en los ciclos, sufría de una fuga en la conexión de tubería y la válvula, ese mínimo caudal de agua generaba sulfato en los microcomponentes electrónico.

### 5.2 Definir los parámetros a controlar por el equipo

Para realizar este objetivo se elaboró la tabla 1 que se muestra a continuación

**Tabla 1** Parámetros de funcionamiento – Suavizadores

Parámetro	Mínimo	Máximo
Dureza	-	1710 ppm
Hierro (Ferroso)	-	10 ppm
Hierro (férrico)	-	5 ppm
Caudal	0,5 gpm / pie <sup>3</sup>	10 gpm / pie <sup>3</sup>

Cloro		0,1 ppm
Presión del agua	25 psi	100 psi
Temperatura del agua	35 ° F	100 ° F
pH	6,8	

**Fuente:** Manual de Suavizadores

### 5.2.1 Definición de la resina que contienen los suavizadores

De este factor el equipo podrá monitorear a través de un controlador de nivel, la tabla 2 muestra las diferentes tipos de resinas

**Tabla 2** Comparación en Variables de funcionamiento

	Datos Establecidos	Datos Recomendados	Datos Configurados
Cant. Resina (ft3)	10	15	15
Cant. Grava (Lbs)	150	250	250
Tipo de Sistema	Sistema Gemelo (Dos Tanques Simultáneos)	Sistema Gemelo (Dos Tanques Simultáneos)	Sistema Individual (Tanque Independiente)
Caudal (ft3/s)	0.15	0.15	0.15
Cant. Sal (Kg)	60	60	60
Capacidad (Galones de Agua)	249000	300000	373000
Temperatura(F)	150	120	176

Se hace referencia a Datos Configurados a los valores modificados en el equipo de control para que funcionen correctamente en el área que se encuentran ubicados.

### 5.3 Estudiar la línea de Alimentación

En la tabla 3 se muestran las variables a estudiar

**Tabla 3** Variables a estudiar

	Sistema Ingles	UND	SI	UND
Temperatura del agua de alimentación	176,00	°F	80,00	°C
Presión máxima en la descarga de la bomba	188	Psi	13,22	Kg/c m <sup>2</sup>
Volumen específico del agua de alimentación	0,01648	Ft <sup>3</sup> /Lb	0,001028	m <sup>3</sup> /kg
Velocidad del agua de alimentación (Asumida)	6,56	Ft/s	2,00	m/s
Caudal de agua suministrado a la caldera	<b>0,15793</b>	<b>Ft<sup>3</sup>/s</b>	<b>0,004470</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

Fuente: Auditoria de Babcock (2014)

Se realiza un estudio en la línea de tubería para poder desechar la posibilidad de que este pasando el fluido a una velocidad elevada y genere corrosión por erosión en los accesorios para cambios de dirección. (Ver Anexo F).

#### 5.3.1 Diámetro de la tubería

El cálculo del diámetro de la tubería se realizó en función de la velocidad del vapor, según “The Steam and Condensate Loop, del Especialista en vapor Spirax Sarco, la experiencia demuestra que son razonables velocidades entre 25 – 40 m/s y cuando los tramos son de distancias considerables es frecuentemente necesario restringir la velocidad a 15 m/s”. A continuación se describe el procedimiento utilizado:

$$Q$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times m \times v}{\pi \times V}} \quad \text{Ec 2}$$

Siendo

$Q$  = Caudal de agua suministrado a la caldera.

$V$  = Velocidad del agua de alimentación. (Asumida)

$A$  = Área de paso de la tubería.

$m$  = Flujo másico.

$v$  = Volumen específico del agua de alimentación.

$D$  = Diámetro de la tubería.

$T$  = Temperatura del agua de alimentación.

L tabla 4 muestra los diferentes diámetros aplicando la fórmula 2

**Tabla 4** Valor de los diámetros

RESULTADOS DEL DIÁMETRO DEL TUBO	Sistema Ingles	UND	SI	UN D
Diámetro del tubo calculado	2,10	in.	53,35	mm
Diámetro del tubo recomendado	2,5	in.	63,5	mm
	<b>2,5</b>	<b>in.</b>	<b>63,5</b>	<b>mm</b>

**Fuente:** Auditoria de Babcock (2014)

### 5.3.2 Espesor mínimo de pared

En el cálculo del espesor de pared se emplea la norma **ASME B31.3 -2004**

**Process Piping** , utilizando la ecuaciones:

$$t_m = t + c \quad \text{Ec 3}$$

$$t = \frac{P \times D}{2 \times (S \times E + P \times Y)} \quad \text{Ec 4}$$

$t_m$  : Espesor mínimo, incluyendo las tolerancias mecánicas.

$c$  : Suma de las tolerancias mecánicas, corrosión y erosión

$t$  : Espesor a la Presión de diseño.  
 $P$  : Presión máxima en la descarga de la bomba  
 $D$  : Diámetro externo.  
 $E$  : Factor de calidad.  
 $S$  : Esfuerzo permisible.  
 $Y$  : Coeficiente que toma en cuenta las propiedades del material y la temperatura de diseño.

Después de aplicar la ecuación tres se tiene la tabla 5 que muestra el valor del espesor mínimo

**Tabla 5** Espesor mínimo de pared

	Sistema Ingles	UND	SI	UND
<b>Presión máxima en la descarga de la bomba</b>	188	Psi	13,22	<b>Kg/c m<sup>2</sup></b>
<b>Diámetro externo</b>	2,875	in.	73,03	<b>mm</b>
<b>Esfuerzo permisible</b>	20000	Psi	1406,20	<b>Kg/c m<sup>2</sup></b>
<b>Factor de calidad</b>	1	N/A	1	<b>N/A</b>
<b>Coeficiente para tipo de material</b>	0,4	N/A	0,40	<b>N/A</b>
<b>Tolerancias mecánicas</b>	0,0825	Inch	2,10	<b>mm</b>
	0,0960	Inch	2,44	<b>mm</b>

**Fuente:** Auditoria de Babcock (2014)

### 5.3.3 Propiedades del tubo seleccionado

La tubería es seleccionada (ver tabla 6) tomando en cuenta el espesor mínimo de pared, las especificaciones de la **Norma Técnica PDVSA H-221 “Especificación de línea BA3”** y **PDVSA L-TP 1.5** (Ver Anexo D)

**Tabla 6** Propiedades de diseño de tuberías de acero

PROPIEDADES DEL TUBO SELECCIONADO	Sistema Ingles	UND	SI	UND
<b>Material</b>	<b>Acero A53 Grado B sin costura, Extremo Biselado</b>			
<b>Schedule</b>	40	N/A	40	<b>N/A</b>

<b>Diámetro Externo</b>	2,875	Inch	73	<b>mm</b>
<b>Diámetro interno</b>	2,323	Inch	59	<b>mm</b>
<b>Espesor de pared</b>	0,276	Inch	7	<b>mm</b>

**Fuente:** Auditoria de Babcock (2014)

### 5.3.4 Estado de la Resina

La Resina para suavizadores debe ser una resina catiónica fuertemente ácida, con un rango de pH: 6 – 10

Las Pruebas de valoración complejo métricas (Calcio, Magnesio, Carbonato de calcio), que se llevaran a cabo en los laboratorios perteneciente a la empresa QVAR en sus instalaciones, estos estudios realizados por el T.S.U. Francisco Miralba, bajo los siguientes procedimientos.

**Tabla 7** Dureza del Agua

<b>Clasificación</b>	<b>Dureza (mg CaCO<sub>3</sub>/ L)</b>
Blandas	0 – 100
Moderadamente duras	101 – 200
Duras	201 – 300
Muy duras	> 300

**Fuente:** Perry (1999)

#### 5.3.4.1. Determinación de calcio

Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\%Ca^{++} = \frac{VT \times N \times 20 \times (VEDTA - B)}{d \times w \times 1000} \times 100\% \quad Ec.5$$

Dónde:

V<sub>EDTA</sub>= volumen de EDTA gastado en la muestra en ml

B= volumen de EDTA gastado en el blanco en ml

N= normalidad del EDTA

20= peso equivalente del calcio

d= alícuota de la solución salina

w= peso de la muestra

VT= volumen total de la solución salina

### **Determinación de magnesio**

Procederemos primero al calcular el Calcio Total:

$$\%Ca_{total} = \frac{VEDTA \times N \times VT \times 20}{d \times w \times 1000} \times 100\% \quad Ec.6$$

Dónde:

$\%Ca_{total}$  = cantidad total en la muestra de sal en porcentaje

$V_{EDTA}$  = volumen de EDTA gastado

N= normalidad del EDTA

20= peso equivalente del calcio

d= alícuota tomada de la solución salina

w= peso de la muestra de sal

VT= volumen total de la solución salina

Una vez obtenido el Calcio Total procederemos a calcular el porcentaje de magnesio:

$$\%Mg = (\%Ca_{TOTAL} - \%Ca^{++}) \times 0.6068 \quad Ec.7$$

Dónde:

$\%Mg$  = cantidad de magnesio en porcentaje

$\%Ca_{TOTAL}$  = porcentaje de calcio total en la muestra

$\%Ca^{++}$  = porcentaje de calcio calculado

0.6068= peso molecular Mg / peso molecular Ca

### **Determinación de carbonato**

Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\%CO_3 = \frac{(V_m - V_b) \times N \times VT \times 30}{w \times a \times 1000} \times 100\% \quad Ec.8$$

Dónde:

%CO<sub>3</sub>= Cantidad de carbonato en porcentaje

V<sub>m</sub>= volumen de ácido gastado

V<sub>b</sub>= volumen de ácido gastado en el blanco

N= normalidad del ácido clorhídrico 30= peso equivalente del carbonato

VT = volumen de la solución

w= peso de la muestra

a= alícuota usada en el ensayo

Para caracterizar el agua utilizada en la preparación de la salmuera se realizaron una serie de pruebas, con el fin obtener información sobre las cantidades de iones (Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) y CaCO<sub>3</sub> presentes en dicha agua.

Tras los resultados obtenidos se realizó una serie de tablas para reportar los valores conseguidos en las pruebas:

En la tabla 8 se aprecian los valores obtenidos para la determinación de la dureza total (CaCO<sub>3</sub>) presente en el agua.

**Tabla 8.** Dureza total (CaCO<sub>3</sub>) presente en el agua.

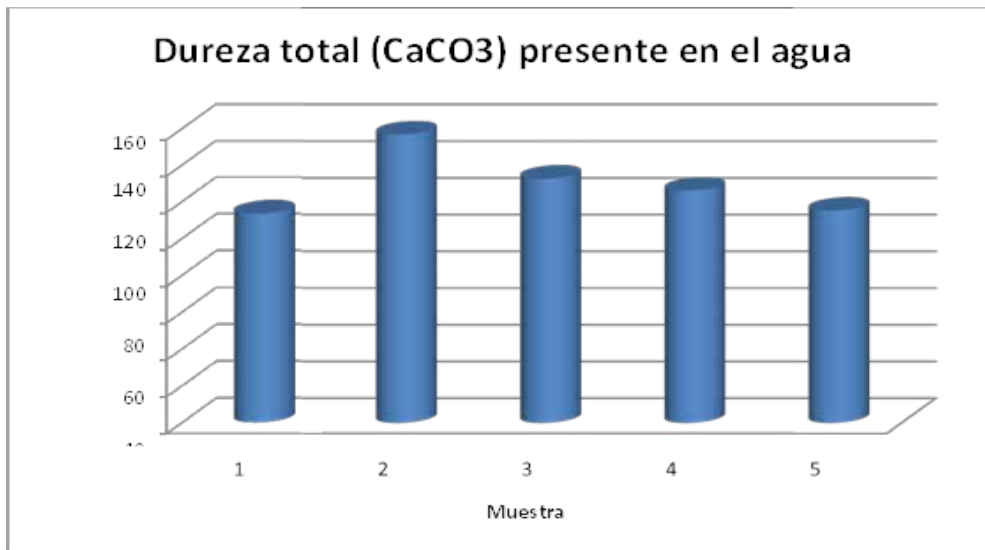
<b>Muestra</b>	<b>Fecha/hora</b>	<b>Volumen EDTA consumido (ml)</b>	<b>Dureza total CaCO<sub>3</sub> (ppm)</b>
1	18/06/2018 8:00AM	5,5	112,86
2	20/06/2018 8:00AM	7,0	166,56
3	22/06/2018	6,8	135,98

	8:00AM		
4	25/06/2018 8:00AM	4,8	120,42
5	29/06/208 8:00AM	6,2	105,53

**Fuente:** Informe QVAR (2018)

En la tabla anterior (tabla 8) se aprecia como los valores de dureza total en el agua utilizada para la preparación de salmueras es relativamente parecida en todas las muestras, teniendo ciertas variaciones pero no significativas, con un valor máximo de dureza de 166,96 ppm de CaCO<sub>3</sub> y un valor mínimo de 105,53 ppm de CaCO<sub>3</sub>, pudiendo clasificar esta agua como moderadamente dura, debido a la cantidad de CaCO<sub>3</sub> presente en la misma.

A continuación se procede a mostrar de forma gráfica (Gráfica 1) los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 8)



**Gráfica 1.** Dureza total CaCO<sub>3</sub> presente en el agua.

**Fuente:** Castillo (2018)

En la siguiente tabla (Tabla 9) se aprecian los valores obtenidos para la determinación de la dureza cálcica ( $\text{Ca}^{2+}$ ) presente en el agua.

**Tabla 9.** Dureza cálcica ( $\text{Ca}^{2+}$ ) presente en el agua.

<b>Muestra</b>	<b>Fecha/hora</b>	<b>Volumen EDTA consumido (ml)</b>	<b>Dureza total <math>\text{Ca}^{2+}</math> (ppm)</b>
<b>1</b>	18/06/2018 8:00AM	4,3	30,10
<b>2</b>	20/06/2018 8:00AM	6,3	68,95
<b>3</b>	22/06/2018 8:00AM	5,8	39,20
<b>4</b>	25/06/2018 8:00AM	4,0	32,64
<b>5</b>	29/06/2018 8:00AM	5,1	39,86

**Fuente:** Informe QVAR (2018)

En la tabla anterior (tabla 9) se aprecia como los valores de dureza cálcica en el agua utilizada para la preparación de salmueras es similar en todas las muestras, teniendo ciertas variaciones pero no significativas, con un valor máximo de dureza de 72,38 ppm de  $\text{Ca}^{2+}$  obtenidos en la muestra No. 2 y un valor mínimo de 35,75 ppm de  $\text{Ca}^{2+}$  obtenidos en la muestra No. 1. Adjunto a esto se observa que la mayoría de los valores sigue una tendencia lineal a excepción de la muestra 2 que discrepa de los demás resultados.

A continuación se procede a mostrar de forma gráfica (Gráfica 2) los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 9)



**Gráfica 2.** Dureza cálcica (Ca<sup>2+</sup>) presente en el agua.  
Fuente: Castillo (2018)

En la siguiente tabla (Tabla 10) se aprecian los valores obtenidos para la determinación de la dureza Magnésica (Mg<sup>2+</sup>) presente en el agua.

**Tabla 10.** Dureza Magnésica (Mg<sup>2+</sup>) presente en el agua.

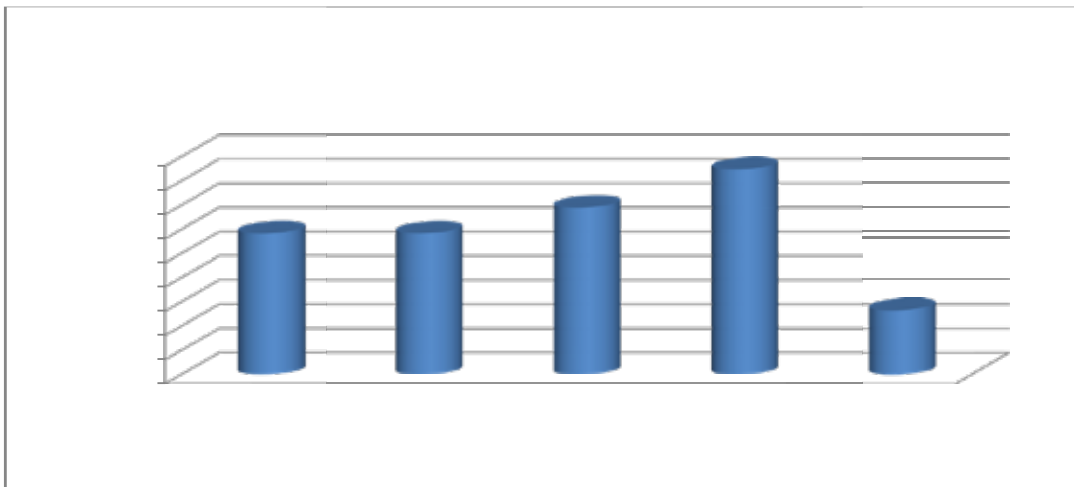
Muestra	Fecha/hora	Volumen EDTA consumido (ml)	Dureza total Mg <sup>2+</sup> (ppm)
1	18/06/2018 8:00AM	1,5	5,3
2	20/06/2018 8:00AM	1,3	5,6
3	22/06/2018 8:00AM	1,2	6,42

<b>4</b>	<b>25/06/2018</b> <b>8:00AM</b>	1,4	8,0
<b>5</b>	<b>29/06/2018</b> <b>8:00AM</b>	1,0	2,6

**Fuente:** Informe QVAR (2018)

En la tabla anterior (tabla 10) se aprecia como los valores de dureza magnésica en el agua utilizada para la preparación de salmueras es parecida en todas las muestras, teniendo ciertas variaciones pero no significativas, con un valor máximo de dureza de 8,0 ppm de  $Mg^{2+}$  obtenidos en la muestra No. 4 y un valor mínimo de 2,6 ppm de  $Mg^{2+}$  obtenidos en la prueba No. 5. Adjunto a esto se observa que la mayoría de los valores sigue una tendencia lineal a excepción de la muestra 4 que discrepa de los demás resultados.

A continuación se muestra de forma gráfica (Gráfica 3) los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 10)



**Gráfica 3.** Dureza Magnésica ( $Mg^{2+}$ ) presente en el agua.

**Fuente:** Castillo (2018)

Para caracterizar la salmuera se realizaron pruebas similares a las realizadas para el agua, con el fin de obtener información sobre las salmuera.

Tras los resultados obtenidos se realizó una serie de tablas para reportar los valores obtenidos en las pruebas de valoración

En la tabla 11 se aprecian los valores obtenidos para la determinación de la dureza total (CaCO<sub>3</sub>) presente en la salmuera.

**Tabla 11.** Dureza total (CaCO<sub>3</sub>) presente en la salmuera.

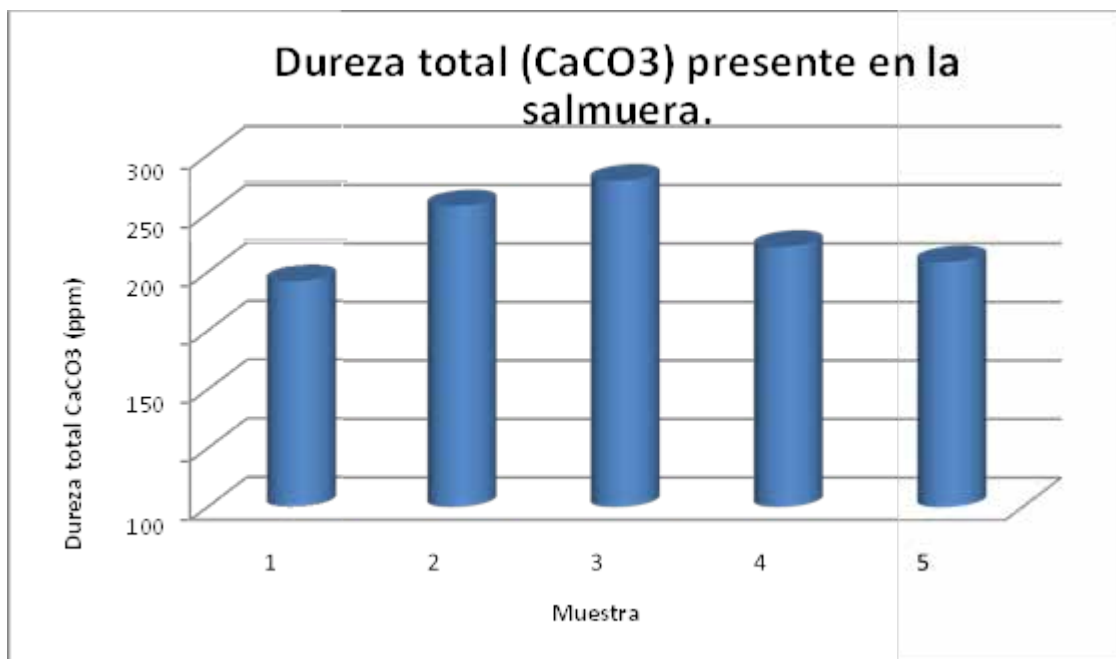
<b>Muestra</b>	<b>Fecha/hora</b>	<b>Volumen EDTA consumido (ml)</b>	<b>Dureza total CaCO<sub>3</sub> (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>18/06/2018 8:00AM</b>	4,2	178,92
<b>2</b>	<b>20/06/2018 8:00AM</b>	5,4	253,74
<b>3</b>	<b>22/06/2018 8:00AM</b>	5,9	291,15
<b>4</b>	<b>25/06/2018 8:00AM</b>	4,7	225,30
<b>5</b>	<b>29/06/2018 8:00AM</b>	4,6	219,18

**Fuente:** Informe QVAR (2018)

En la tabla anterior (tabla 11) se aprecia como los valores de dureza total (CaCO<sub>3</sub>) en la salmuera son medianamente parecidos en todas las muestras, teniendo ciertas diferencias aunque en un rango relativamente similar, con un valor máximo de dureza de 291,15 ppm de CaCO<sub>3</sub> obtenidos en la muestra No. 3 y un valor mínimo de 178,92 ppm de CaCO<sub>3</sub> obtenidos en la prueba No. 1. Adjunto a esto se

observa que la mayoría de los valores sigue una tendencia lineal a excepción de la muestra 3 que discrepa de los demás resultados.

A continuación se procede a mostrar la gráfica 4, realizada de los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 11)



**Gráfica 4.** Dureza total (CaCO<sub>3</sub>) presente en la salmuera.  
Fuente: Castillo (2018)

En la tabla 12 se aprecian los valores obtenidos para la determinación de la dureza cálcica (Ca<sup>2+</sup>) presente en la salmuera.

**Tabla 12.** Dureza cálcica (Ca<sup>2+</sup>) presente en la salmuera.

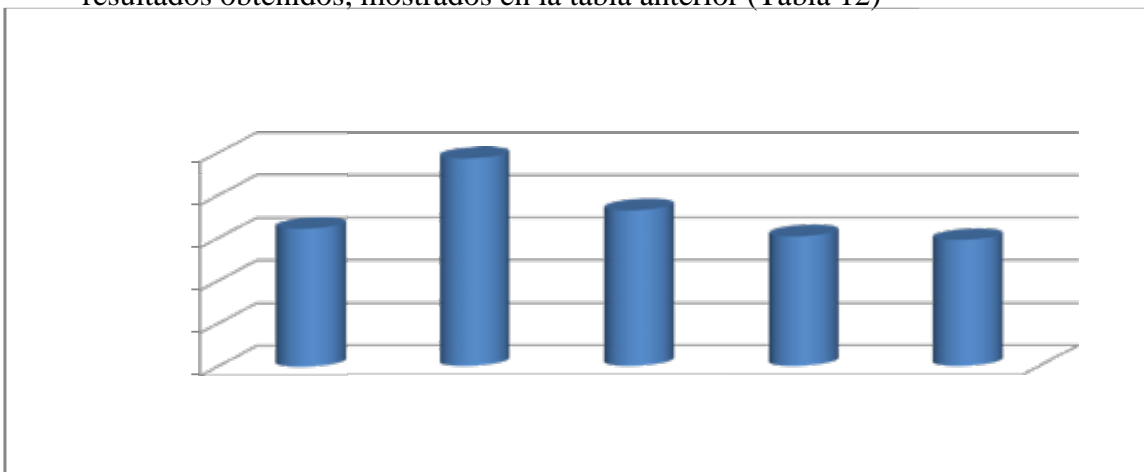
<b>Muestra</b>	<b>Fecha/hora</b>	<b>Volumen EDTA consumido (ml)</b>	<b>Dureza total Ca<sup>2+</sup> (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>18/06/2018 8:00AM</b>	3,9	60,55

2	20/06/2018 8:00AM	5,8	94,63
3	22/06/2018 8:00AM	4,5	71,20
4	25/06/2018 8:00AM	3,2	58,04
5	29/06/2018 8:00AM	3,0	56,30

**Fuente:** Informe QVAR (2018)

En la tabla anterior (tabla 12) se aprecia como los valores de dureza cálcica en la salmuera son relativamente parecidos en todas las muestras, teniendo ciertas variaciones pero no significativas, con un valor máximo de dureza de 94,63 ppm de  $\text{Ca}^{2+}$  obtenidos en la muestra No. 2 y un valor mínimo de 56,30 ppm de  $\text{Ca}^{2+}$  obtenidos en la prueba No. 5. Adjunto a esto se observa que la mayoría de los valores sigue una tendencia lineal a excepción de la muestra 2 que discrepa de los demás resultados.

A continuación se procede a mostrar de forma gráfica (Gráfica 5) los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 12)



**Gráfica 5.** Dureza cálcica ( $\text{Ca}^{2+}$ ) presente en la salmuera

**Fuente:** Castillo (2018)

En la siguiente tabla (Tabla 13) se aprecian los valores obtenidos para la determinación de la dureza Magnésica ( $Mg^{2+}$ ) presente en la salmuera.

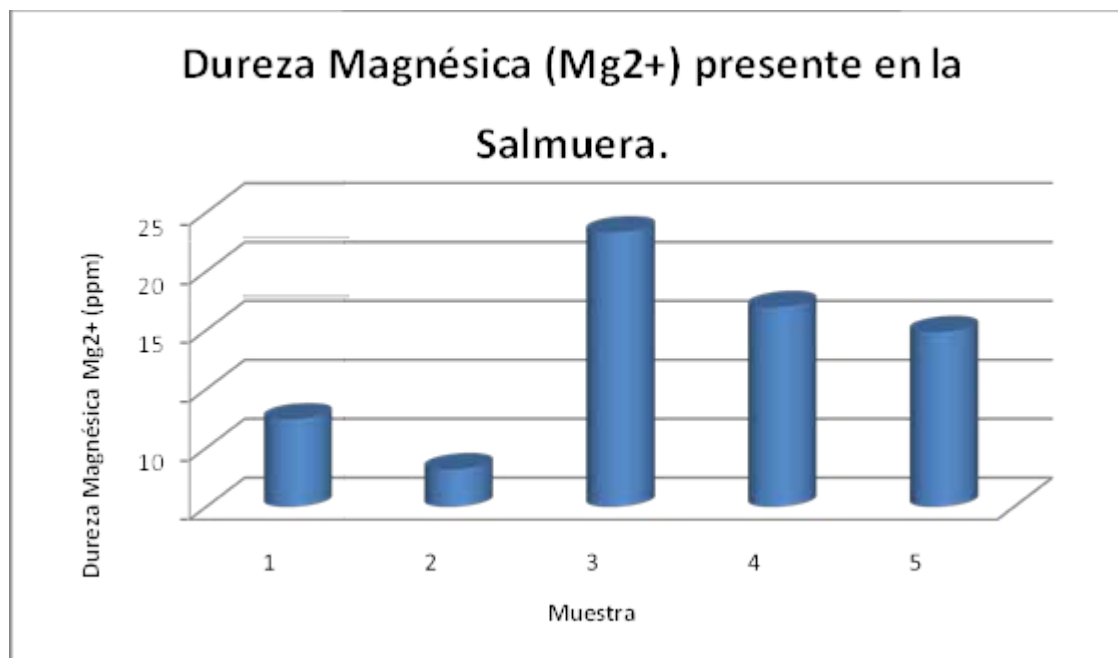
**Tabla 13.** Dureza Magnésica ( $Mg^{2+}$ ) presente en la salmuera.

<b>Muestra</b>	<b>Fecha/hora</b>	<b>Volumen EDTA consumido (ml)</b>	<b>Dureza total <math>Ca^{2+}</math> (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>18/06/2018 8:00AM</b>	0,7	7,42
<b>2</b>	<b>20/06/2018 8:00AM</b>	0,3	3,17
<b>3</b>	<b>22/06/2018 8:00AM</b>	2,2	23,31
<b>4</b>	<b>25/06/2018 8:00AM</b>	1,6	16,95
<b>5</b>	<b>29/06/2018 8:00AM</b>	1,4	14,83

**Fuente:** Informe QVAR (2018)

En la tabla anterior (tabla 13) se aprecia como los valores de dureza magnésica en la salmuera son relativamente parecidos en todas las muestras, teniendo ciertas variaciones pero no significativas, con un valor máximo de dureza de 23,31 ppm de  $Mg^{2+}$  obtenidos en la muestra No. 3 y un valor mínimo de 3,17 ppm de  $Mg^{2+}$  obtenidos en la prueba No. 2. Adjunto a esto se observa que la mayoría de los valores sigue una tendencia lineal a excepción de la muestra 3 que discrepa de los demás resultados.

A continuación se procede a mostrar de forma gráfica (Gráfica 6) los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 13)



**Gráfica 6.** Dureza Magnésica (Mg<sup>2+</sup>) presente en la salmuera.  
**Fuente:** Castillo (2018)

Tras analizar los resultados se pudo comprobar la cantidad de iones presentes tanto en el agua como en la salmuera.

Se tomaron muestras de 100 ml, cada una fue tomada durante 5 días (18/06/2018-29/06/2018), todas las muestras fueron tomadas a la misma hora 8:00 am, y se analizaron con el apoyo de la empresa QVAR.

En la siguiente tabla 14, se comparan los valores obtenidos en las pruebas para determinar los iones (Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup>) en la salmuera, con los máximos permitidos según normas COVENIN 179:1995.

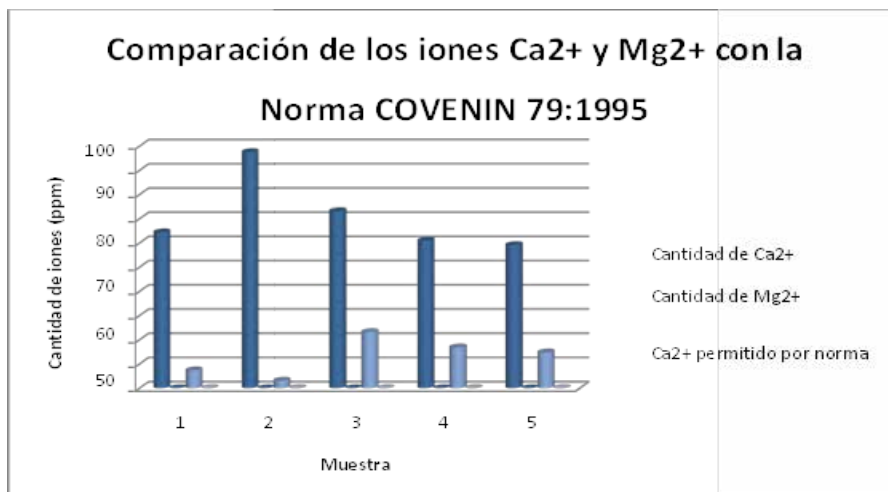
**Tabla 14.** Comparación de los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  con la norma COVENIN 179:1995.

<b>Muestra</b>	<b>Cantidad de <math>\text{Ca}^{2+}</math> (ppm)</b>	<b>Cantidad de <math>\text{Mg}^{2+}</math> (ppm)</b>	<b>Cantidad de <math>\text{Ca}^{2+}</math> (ppm) permitido por COVENIN 179:1995</b>	<b>Cantidad de <math>\text{Mg}^{2+}</math> (ppm) permitido por COVENIN 179:1995</b>
<b>1</b>	68,90	7,42	0,1	0,1
<b>2</b>	99,32	3,3	0,1	0,1
<b>3</b>	77,44	27,47	0,1	0,1
<b>4</b>	63,14	17,95	0,1	0,1
<b>5</b>	56,22	12,83	0,1	0,1

**Fuente:** Castillo (2018)

En la tabla anterior (Tabla 14) se observa como los valores en cada una de las pruebas sobrepasa los recomendados por la norma COVENIN 179:1995, observando así que es necesaria la aplicación de métodos que reduzcan dichos iones ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ).

A continuación se procede a mostrar de forma gráfica (Gráfica 7) los resultados obtenidos, mostrados en la tabla anterior (Tabla 14)



**Gráfica 7.** Comparación de los iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> con la norma COVENIN 79:1995  
**Fuente:** Castillo (2018)

En la siguiente tabla (Tabla 15) se procedió a caracterizar la sal bruta individualmente para observar la cantidad de iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> presentes en la misma.

**Tabla 15.** Comparación de iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> presentes en la sal bruta con la norma

Cantidad de Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Cantidad de Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Límite de iones Ca <sup>2+</sup> y Mg <sup>2+</sup> (ppm) permitidos por norma COVENIN 179:1995
14,82	6,91	0,1

**Fuente:** Castillo (2018)

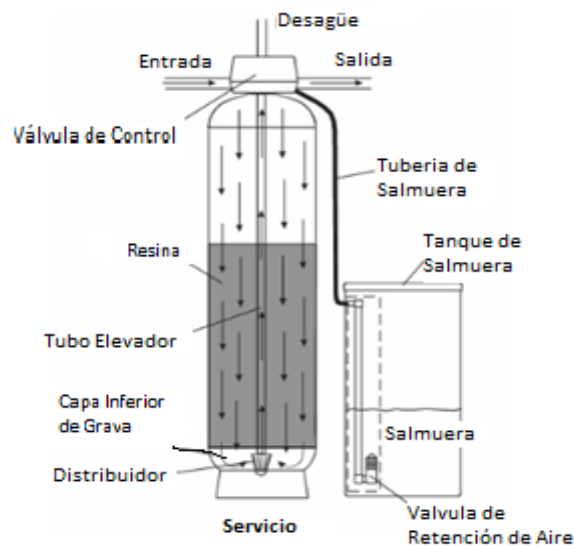
En la tabla anterior (tabla 15) se observa como las cantidades de los iones calcio y magnesio sobrepasan los límites permitidos por la norma.

Los equipos suavizadores automáticos originalmente estaban diseñados para trabajar hasta 9 años pero la realidad es que estos muestran una degeneración lo suficientemente marcada en su funcionamiento que su trayectoria en uso se acorta a tan solo 6 años de operación.

#### 5.4 Registrar el trabajo de tratamiento de Agua que se plantea

##### Ciclo de servicio:

El ciclo de servicio es el Ciclo de Suavizado normal. El agua cruda fluye en la válvula de control y se dirige hacia la parte superior del tanque. Entonces, el agua fluye hacia abajo a través de la resina entrando en la camada de grava, y el distribuidor inferior del sistema. A medida que el agua cruda pasa a través de la resina, la dureza se elimina. El agua blanda desemboca en el distribuidor y sube por el tubo vertical (o levantador) hacia la válvula, y que dirige el agua blanda a la salida en el punto de uso.

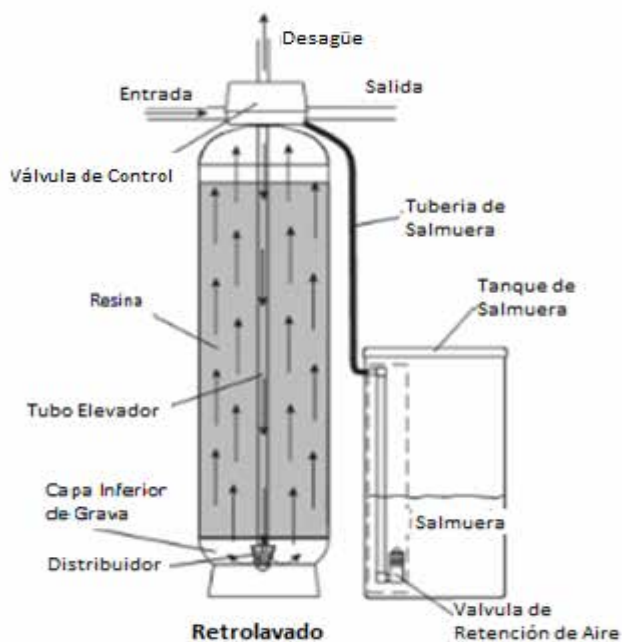


**Figura 7.** Ciclo de Servicio

**Fuente:** Manual de Suavizadores

### 5.4.1Ciclo de retrolavado:

El ciclo de lavado es el primer ciclo de regeneración. El agua cruda entra en la válvula de control hacia abajo y se dirige hacia el tubo de subida y el distribuidor en la parte inferior del tanque mineral. El agua fluye uniformemente a través de la resina, expandiéndola y lavando la turbidez recogida durante el ciclo de servicio hacia el desagüe y pasando por el control de flujo de drenaje desagüe (DLFC). La expansión de la resina es normalmente 50% según especificaciones del fabricante. La rata de flujo de retrolavado está restringido por el control de flujo autoajustable ensamblado en la conexión de desagüe de la válvula de control. La rata de flujo de retrolavado está entre 4,0 a 4,5 gpm por pie cuadrado de área de la cama. La posición de tiempo es de 10 minutos.

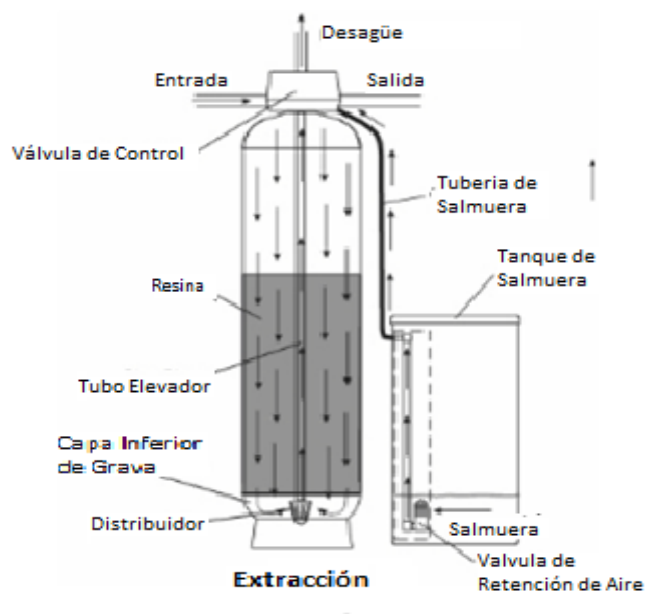


**Figura 8.** Ciclo de Retrolavado

**Fuente:** Manual de Suavizadores

#### 5.4.2Ciclo de extracción de salmuera:

El Ciclo de Extracción de Salmuera se inicia cuando el Ciclo de Lavado se completa. El agua cruda se dirige hacia la parte superior del tanque a través de un eyector. Un vacío, determinada por la velocidad del flujo de agua, se genera cuando el agua pasa a través del eyector. Este vacío extrae la solución de cloruro de sodio concentrado del tanque de salmuera y hasta en la parte superior del tanque mineral. La salmuera fluye hacia abajo a través de la resina la cual intercambia sus iones calcio y magnesio en la resina por los de sodio. El agua fluye hacia abajo en el distribuidor, drena por el tubo de subida y se envía al drenaje. Este proceso estará ajustado para que se realice en un lapso de 60 minutos con el fin de eliminar cualquier impureza que pueda persistir.

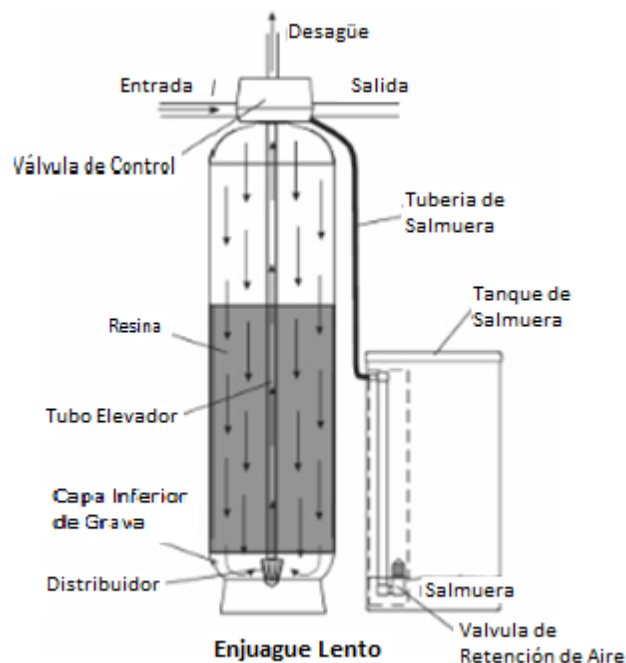


**Figura 9.** Ciclo de Extracción

**Fuente:** Manual de Suavizadores

### 5.4.3Ciclo de enjuague lento:

La extracción de salmuera continúa hasta el vaciado del tanque. La pelota (nivel) en el AirCheck se asienta parando el ciclo de extracción e iniciando el Ciclo lento de Enjuague El agua cruda fluye hacia abajo a través de la resina a la misma velocidad como durante el ciclo de drenaje.



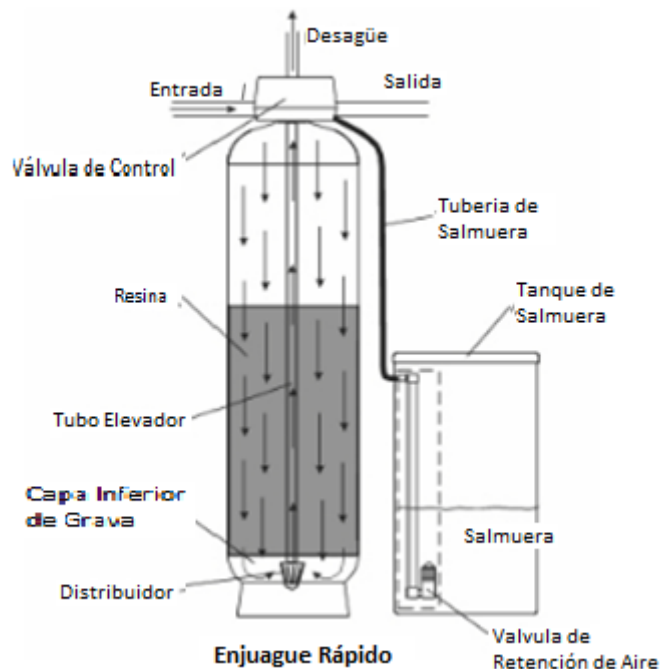
**Figura 10.** Ciclo de Enjuague Lento

**Fuente:** Manual de Suavizadores

### 5.4.5Ciclo de enjuague rápido:

El agua cruda entra en la parte superior del tanque mineral igual que durante el ciclo de servicio. El agua fluye hacia abajo a través de la resina y grava, y es recogido en el distribuidor y dirigido hacia el tubo vertical. El agua fluye a través del válvula de control para drenar a través del control de drenaje de línea de flujo. El caudal de enjuague rápido es el mismo que el velocidad de flujo de retrolavado. El

enjuague rápido compacta el lecho de resina y la prepara para la remoción de dureza durante el siguiente ciclo de servicio.



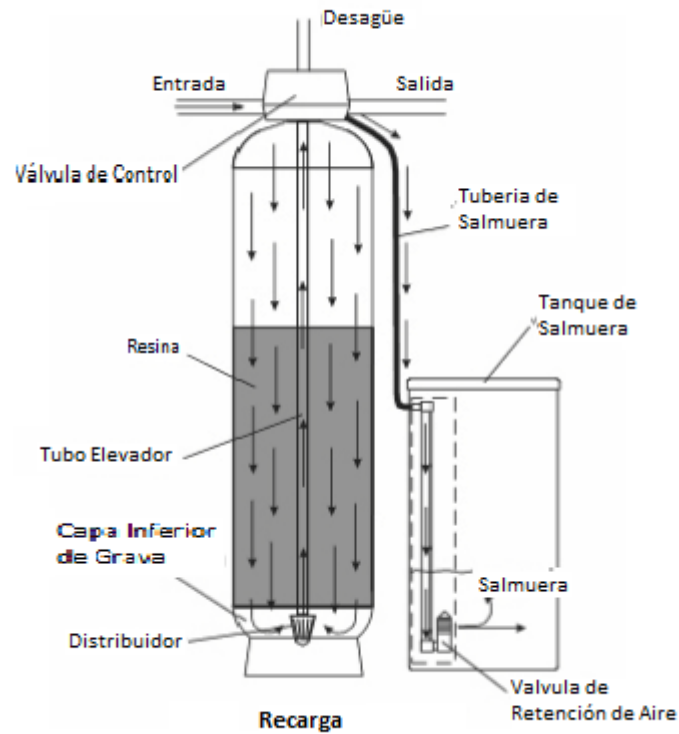
**Figura 11.** Ciclo de Enjuague Rápido

**Fuente:** Manual de Suavizadores

#### 5.4.5 Ciclo de recarga:

El ciclo de recarga es un ciclo programado. Se utiliza un control de flujo de la línea de salmuera conjuntamente con un tiempo preseleccionado para retornar agua al Tanque de Salmuera. La cantidad de agua colocada de nuevo en el tanque de salmuera se determina mediante la dosificación de sal de la resina y la cantidad de resina contenida en el depósito de tanque mineral. Un ajuste de  $10 \text{ lb/pie}^3$  y un tanque mineral de  $15 \text{ pie}^3$  de resina requiere de 60 lb de sal para la regeneración. Como se pueden disolver 3 libras de sal en un galón de agua, se requiere un mínimo de 8.33 galones de agua. Si la rata de recarga es de 2,0 gpm entonces, el tiempo de llenado

necesario es de es de 20 minutos. Cuando la recarga se completa, el sistema avanza a stand-by o servicio.



**Figura 12.** Ciclo de Recarga

**Fuente:** Manual de Suavizadores

Con el arreglo presente en cada ciclo se reduce el tiempo de espera entre procesos regenerativos de 2 horas a 90 minutos; logrando a su vez una reducción en la caída de nivel del agua en los pozos, disminuyendo la pérdida de un 30% a un 29% de su nivel total.

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ paradas\ por\ Mantenimiento}{Horas\ Totales} \times 100\% \quad Ec.9$$

Se mostró un aumento de las disponibilidad original de un 75% a una mejora de 81% en los equipos suavizadores.

## CONCLUSIONES

1. Una vez ubicada la documentación necesaria fue revisada, analizada y tabulada por lo que se detectó que no se estaban cumpliendo con los estándares recomendados por el fabricantes al momento de poner en marcha dichos equipos, claramente mostraban inconsistencias en sus valores.

2. Se observó que los parámetros que se están utilizando son los establecidos originalmente por los fabricantes quedando demostrado que su uso esta errado, ya que fueron introducidos aun cuando estos datos no eran acordes al área donde se encuentran en funcionamiento.

3. Realizado el debido análisis en la tubería, se pudo observar que estas cumplían con los requerimientos previstos y establecidos en el diseño del proyecto original, quedando demostrado que las pérdidas no eran a consecuencia de estas; una vez descartada las tuberías y accesorios como posibles causantes del problema se procedió a revisar la resina mostrando esta unos resultados decadente que permiten el paso de los compuestos dañino a la caldera lo que genera como consecuencia el mal funcionamiento, además a través de los estudios a la resina se pudo comprobar que su composición no cumplía con las normas COVENIN.

4. Los equipos suavizadores mostraban una mala implementación en la distribución entre ciclos esto referente a la falta de configuración en los datos a controlar dependiendo del área de trabajo

## **RECOMENDACIONES**

A continuación se mencionan una serie de recomendaciones cuya implementación son vitales para mejorar la operatividad de los sistemas de alimentación para la caldera, y estimular el uso eficiente de los mismos.

Realizar un estudio de todos los equipos del área, como también la búsqueda y ubicación de los manuales de estos y establecer un plan de mantenimiento acorde a las necesidades con cada uno de ellos.

Proceder a informar al operador las modificaciones en las variables de control, como también la actualización en la base de datos en función de las características del agua mostrando un cambio en su composición original.

Para Finalizar se recomienda la extracción de la resina existente, limpieza completa del equipo, revisión total de las entradas y salidas en caso de que puedan encontrarse obstrucciones y de esta forma solventar el problema. Luego proceder a colocar la nueva resina y su puesta en funcionamiento.

## REFERENCIAS

### Bibliografía

- Cervantes, L. (2015). **Diseño y Construcción de un Ablandador de Agua mediante el Empleo de Resina de intercambio Iónico para Abastecer los Equipos Térmicos del Laboratorio de Termodinámica.** Quito.
- Ramírez, E., Ruiz, A., & Trejo, O. (2008). **Reutilización Sana y Ahorro de Agua en un Edificio Multifamiliar.** México.
- Santiago, J. (2016). **El Agua en las Calderas de Vapor.** En C. d. Madrid, *Calderas Industriales Eficientes* (pág. 45). Madrid.
- Guedez, G. (2017). **Sistema de Vapor y Retorno de Condensado de Planta Subproducto.** Valencia.

# ANEXOS

# ANEXO A

## PREGUNTAS DE LAS ENTREVISTA

<b>1</b>	¿Ha trabajado con anterioridad con un equipo parecido o igual a este?
<b>2</b>	¿Se le realizó una inducción a la manipulación del equipo?
<b>3</b>	¿Se le suministro algún documento o manual del equipo?
<b>4</b>	¿Se le realiza mantenimiento constantemente?
<b>5</b>	¿La Línea de Alimentación cuenta con los equipos recomendados?
<b>6</b>	¿Se tiene establecido una cantidad de sal a suministrar?
<b>7</b>	¿Se realiza la regeneración del equipo igual a como inicio los suavizadores desde la primera vez?
<b>8</b>	¿Se ha realizado un estudio por la falla?

# ANEXO B



D.T. 3294

Tabla N° 1

## INFORME DE LABORATORIO

CLIENTE:	AVÍCOLA LA GUASIMA, C.A.
ATENCIÓN:	Ing. Juan Lozano
CIUDAD:	Tocuyito, Estado Carabobo
FECHA:	Junio 28 de 2018

### Análisis Resina Catiónica Suavizador Uno

Análisis	Parámetros Lewatt S108	Estado Actual	Descontaminada Exro 410
Capacidad Total de Intercambio Iónico en Volumen Húmedo, meq/ml CaCO <sub>3</sub>	Mínimo 2,3	1,87	1,80
Capacidad Total de Intercambio Iónico en Volumen Húmedo, Kgrano/Pie <sup>3</sup> CaCO <sub>3</sub>	50,3	40,89	39,37
Porcentaje de Esfericidad, %	Mín. 95	90	85
Porcentaje de Finos, %	Máx. 5	10	15
Hierro, ppm Fe <sup>2+</sup>	0,0	30	0,6

#### OBSERVACIONES:

La muestra analizada corresponde a un lecho libre de lodos, compuesto por resina mono esfera de color ambar.

Los resultados aquí reportados corresponden única y exclusivamente a la muestra analizada y no a otra de la misma procedencia.

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
T.S.U. Francisco Mirabal	Ldo. Héctor Raúl Rodríguez Báez
	HR/hrb

REFRIGERANTES Y ANTICORROSIVOS - CUIDADOS DEL VEHICULO - LIMPIADORES INDUSTRIALES - TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES - FILTROS - SUAVIZADORES - RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO OSMOSIS INVERSA.  
Calle I, Cruce con calle G Iera Etapa Conglomerado Industrial Manuel Olivares Betancourt Local 48  
Zona Industrial San Vicente II Maracay - Estado Aragua.  
Teléfonos: (0243) 551.53.97 - 551.61.27 - 551.61.54 Fax:(0243) 551.63.26  
www.qvarvenezuela.com

Tabla N° 2  
**INFORME DE LABORATORIO**

CLIENTE:	AVÍCOLA LA GUASIMA, C.A.
ATENCIÓN:	Ing. Juan Lozano
CIUDAD:	Tocuyito, Estado Carabobo
FECHA:	Junio 28 de 2018

**Análisis Resina Catiónica Suavizador Dos**

Análisis	Parámetros Lewatt S108	Estado Actual	Descontaminada Exro 410
Capacidad Total de Intercambio Iónico en Volumen Húmedo, meq/ml CaCO <sub>3</sub>	Mínimo 2,3	1,85	1,61
Capacidad Total de Intercambio Iónico en Volumen Húmedo, Kgrano/Pie <sup>3</sup> CaCO <sub>3</sub>	50,3	36,08	35,21
Porcentaje de Esfencidad, %	Min. 95	90	85
Porcentaje de Finos, %	Max. 5	10	15
Hierro, ppm Fe <sup>2+</sup>	0,0	75	2,9

**OBSERVACIONES:**

La muestra analizada corresponde a un lecho libre de lodos -compuesto por resina mono esfera de color marrón.  
Los resultados aquí reportados corresponden única y exclusivamente a la muestra analizada y no a otra de la misma procedencia.

ELABORADO POR: T.S.U. Francisco Mirabal		APROBADO POR: Ldo. Héctor Raúl Rodríguez Báez	
		HR/hrb	

**REFRIGERANTES Y ANTICORROSIVOS - CUIDADOS DEL VEHICULO - LIMPIADORES INDUSTRIALES - TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES - FILTROS - SUAVIZADORES - RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO OSMOSIS INVERSA.**  
Calle I, Cruce con calle G 1era Etapa Conglomerado Industrial Manuel Olivares Betancourt Local 48  
Zona Industrial San Vicente II Maracay - Estado Aragua.  
Teléfonos: (0243) 551.53.97 - 551.61.27 - 551.61.54 Fax:(0243) 551.63.26  
www.qvarvenezuela.com

## ANEXO C

**Equipo Suavizador**



**Tanque de Alimentación**



**Caldera de 1000 HP**



**Arreglo de Alimentación**



**Tanque Reserva de Sal**



## ANEXO D

SERVICIO	CLASE					
	150	300	600	900	1500	2500
Aceite varios	AA1					
Aceite de Lubricación/ Sello			DK1			
Ácido Clorhídrico (30 - 35%)	SZ2					
Ácido Sulfúrico <65% m/m	SZ2					
Ácido Sulfúrico >65% m/m	AA1					
Agua Aceitosa / Agua Residual	AA2					
Agua Ácida	AA2A AA9A AK2	BA2A	DA2A	EA9A		
Agua contra incendio	HA3 HA5 HX3 SZ1A SZ1B SZ1C					
Agua de Alimentación de Caldera	AA1	BA3	DA3 DA3A DA3B			
Agua de Enfriamiento	AA1 HA2 SZ1A SZ1B					
Agua de Inyección a pozo				EA2	FA1	
Agua de Lavado	AA1 AA2 AA2A		DA1	EA2	FA1 FA2 FL1	GL1
Agua de Servicio	HA2 HA3 SZ1A SZ1B					
Agua Desmineralizada	AK1 HA2					
Agua Natural (PH bajo)	HA3					
Agua Potable	HX2					
Agua Salada (Subterránea)	TP2					
Aire de Instrumento	HX2					
Aire de Regeneración	AA1	BA1		EK1		
Aire de Servicio	HA2					
Amina pobre	AA1 AA2	BA1 BA2				
Amina rica	AA1 AK1 AK2	BA2				
Amoniaco	AA1	BA1 BD1				
Azufre Líquido	AA8					
Benceno	AA1					



# MATERIALES PARA TUBERÍAS

REVISIÓN FECHA  
3 OCT.13  
Página 31

Menú Principal

Índice manual

Índice norma

Piping	Clase	Cara de Bridas	Material	Espesor por Corrosión Permisible mm (in)	Rango de Temperatura (Nota 1)			Rango de Presión (Nota 1)				
					-C	-F	KP.a	Psi				
BA1		RF	Acero al carbono	1.587 (0.0625)	-29	427	800.00	5100.00	2825.00	740.00	410.00	
BA2	300	RF	Acero al carbono	3.175 (0.125)	261	399	501.80	4118.79	3432.33	597.36	497.82	
BA2A		RF	Acero al carbono	3.175 (0.125)	204	399	384.20	2755.67	2755.67	399.66	399.66	
BA5		RF	Acero al carbono	1.587 (0.0625)	Ver Gráfico Anexo							
BA9		RF	Acero al carbono	6.35 (0.25)	329	427	642.20	1912.30	1912.30	277.36	277.36	
BD1	300	RF	1-1/4 Cr-1/2 Mo	1.587 (0.0625)	455	593	651.00	1099.40	686.47	469.37	96.56	
BS1		RF	5 Cr-1/2 Mo	3.175 (0.125)	316	399	600.80	3726.53	3726.53	540.49	540.49	
BS2		RF	5 Cr-1/2 Mo	6.35 (0.25)	499	399	930.20	706.08	706.08	102.41	102.41	
BK1		RF	Acero Inoxidable 304	0.254 (0.010)	174	399	345.20	2275.14	2275.14	329.98	329.98	
BK8		RF	Acero Inoxidable 304	0.787 (0.031)	190	399	374.00	4118.79	4118.79	597.36	597.36	
DA1		RF	Acero al carbono	1.587 (0.0625)	-29	427	-20.20	800.00	10205.00	6990.00	1490.00	825.00
DA2A	600	RF	Acero al carbono	3.175 (0.125)	186	399	368.80	6864.66	6864.66	995.64	995.64	
DA3A		RF	Acero al carbono	3.175 (0.125)	121	399	249.80	750.20	8620.05	4932.74	1250.23	715.44
DAG		RF	Acero al carbono	6.35 (0.25)	227	399	440.60	4932.74	4932.74	715.44	715.44	
DO3		RF	1-1/4 Cr-1/2 Mo	1.587 (0.0625)	453	593	647.40	1099.40	6868.52	1274.86	967.19	184.90
DO4		RF	1-1/4 Cr-1/2 Mo	3.175 (0.125)	301	399	627.60	4099.16	4099.16	594.54	594.54	
DK1		RF	Acero Inoxidable 304	0.254 (0.010)	378	149	712.40	300.20	8237.59	5491.72	1194.76	796.51
DO1	900	RF	Acero al carbono	0.254 (0.010)	260	399	500.00	5491.72	5491.72	796.51	796.51	
EAI		RTJ	Acero al carbono	1.587 (0.0625)	-7	65	19.40	149.00	15298.37	14415.78	2218.85	2090.84
EAI A		RF	Acero al carbono	3.175 (0.125)	-7	205	19.40	401.00	15298.37	13042.84	2218.85	1891.71
EAI B		RF	Acero al carbono	1.587 (0.0625)	-7	399	19.40	750.20	15298.37	10385.05	2218.85	1507.88
EAI C		RF	Acero al carbono	1.587 (0.0625)	399	454	750.00	849.20	10385.05	5569.79	1507.88	810.73
EAI D		RTJ	Acero al carbono	6.35 (0.25)	93	399	199.40	13435.11	13435.11	1948.60	1948.60	
EAI E	RF	Acero al carbono	6.35 (0.25)	93	399	199.40	13435.11	13435.11	1948.60	1948.60		
ED4	RTJ	1-1/4 Cr-1/2 Mo	3.175 (0.125)	232	399	449.60	13435.11	13435.11	1948.60	1948.60		
EK1	RF	Acero Inoxidable 304	1.587 (0.0625)	510	399	960.00	6207.81	6207.81	900.34	900.34		
EM1	RTJ	Acero Inoxidable 321	1.587 (0.0625)	427	399	800.60	6864.07	6864.07	996.90	996.90		

Nota 1: Rango de presiones y temperatura según lo indicado en la norma ASME B16.5 y ASME B16.47

Nota 2: Las especificaciones AA3 y AA4 se incorporaron a la especificación AA1.

Nota 3: Las especificaciones BA3 y BA4 se incorporaron a la especificación BA1.

Nota 4: Las especificaciones DA3 y DA3B se incorporaron a la especificación DA1

## **ANEXO E**

### **DATOS GENERALES DE LA CALDERA**

**Marca:** Cleaver Brooks

**Serial:** T1999-1-1

**Modelo:** CBLE-200-1000-200

**Tipo:** Pirotubular

**Año Fabricación:** 2010

**Potencia:** 1000 HP

**Capacidad:** 34.500 Lb/hr

**Presión de Diseño:** 200 Psig

**Presión de Trabajo:** 180 Psig

**Combustible:** Gasoil

**Procedencia de la Caldera:** Georgia



## ANEXO F

