



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL ABLANDADOR ADECUADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL CALDERO EXISTENTE EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

**CHINLLI CHOGLLO SEGUNDO HERNÁN
TAIPE ALVARADO VÍCTOR HUGO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA - ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-10-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CHINLLI CHOGLLO SEGUNDO HERNÁN
TAIPE ALVARADO VÍCTOR HUGO**

Titulado:

**“SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL ABLANDADOR ADECUADO PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL CALDERO EXISTENTE EN LA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Fernando González Puente
DIRECTOR

Ing. Ángel Ramírez Alomia
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CHINLLI CHOGLLO SEGUNDO HERNÁN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL ABLANDADOR ADECUADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL CALDERO EXISTENTE EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

Fecha de Examinación: 2016-10-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. María Campuzano Paez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Fernando González Puente DIRECTOR			
Ing. Ángel Ramírez Alomia ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. María Campuzano Paez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TAIBE ALVARADO VÍCTOR HUGO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL ABLANDADOR ADECUADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL CALDERO EXISTENTE EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

Fecha de Examinación: 2016-10-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. María Campuzano Paez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Fernando González Puente DIRECTOR			
Ing. Ángel Ramírez Alomia ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. María Campuzano Paez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORIA

El presente Trabajo de Titulación, es original y basado en el proceso de investigación y/o propuesta tecnológica establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Chinlli Chogollo Segundo Hernán

Taipe Alvarado Víctor Hugo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Taipe Alvarado Víctor Hugo y Chinlli Chogllo Segundo Hernán, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Chinlli Chogllo Segundo Hernán
Cédula de Identidad: 060444267-3

Taipe Alvarado Víctor Hugo
Cédula de Identidad: 060354925-4

DEDICATORIA

A mis padres: Bolívar Chinlli y Rosa Chogllo, a mi esposa Katherine y mi hijo Alexis, gracias por su incondicional apoyo y confianza brindada, siempre fueron y serán mi fortaleza, inspiración y ejemplo a seguir para la culminación de mi estudio, a mi hermano Iván quien fue como mi segundo padre cuyo carácter y personalidad fue mi gran ejemplo, gracias a mis hermanas Ana, Silvia, Irene y Adriana quienes se encontraban siempre brindándome palabras de apoyo durante mi vida estudiantil.

A mi familia en general: Tíos, tías, primos y primas que de una u otra manera me apoyaron y finalmente a mi maestros de mi distinguida escuela quienes forjaron en mí una persona de conocimientos y sabidurías.

Segundo Hernán Chinlli Chogllo

A mi mamá: Mirian Alvarado, gracias por todo el apoyo que me brindo y por todo el sacrificio que hizo para que pueda finalizar mi carrera. A mi hermano: Jefferson Taipe y a mi prometida: Sandra Lema, gracias por su apoyo incondicional y darme la fuerza e inspiración para seguir adelante y no rendirme jamás.

A toda mi familia: abuelitos, abuelitas, tíos, tías, primos y primas, que de una u otra manera me apoyaron, dándome esas palabras de ánimo y consejos que me dieron el empuje necesario para culminar con mi carrera. En especial para mi abuelito: Javier Taipe que me dejó un gran legado de unión familiar y siempre cumplir con las metas que uno se propone, a mi tía Ana Taipe, que a la distancia siempre estuvo pendiente de mí y apoyándome como si fuera su hijo, a mi tía: Rocío Alvarado, que con su carácter amoroso y recto siempre me guio por el camino del bien.

Víctor Hugo Taipe Alvarado

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento primero a Dios y luego a mis padres por haberme dado la vida, por haber forjado en mí un hombre de bien para la sociedad y por haber guiado cada paso durante mi vida estudiantil.

Le doy gracias a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial a mi querida Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, las cuales un día me abrieron sus puertas ofreciéndome una oportunidad profesional y ahora son testigos del triunfo alcanzado.

Finalmente agradezco a toda mi familia y amigos quienes compartieron muestras de apoyo y gratitud durante y hasta la culminación de mi profesión.

Segundo Hernán Chinli Choglo

Primeramente agradezco a Dios por darme la vida, la sabiduría, la paciencia y perseverancia para alcanzar esta meta profesional y personal en mi vida.

El más profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, porque un día me brindaron la oportunidad de obtener una profesión y hoy haberla alcanzado.

Un enorme agradecimiento a todos los ingenieros que nos ayudaron con la realización del trabajo de titulación y en especial a la empresa TESQUIMSA, que conjuntamente trabajamos en este proyecto.

En especial agradezco a mi mamá, a mi hermano, a mi prometida, a toda mi familia y todos mis amigos por su apoyo brindado para alcanzar esta gran meta en mi vida.

Víctor Hugo Taipe Alvarado

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos.</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Definición, funciones, tipos y partes de un caldero	3
2.1.1 <i>Funciones del caldero.</i>	3
2.1.2 <i>Tipos de calderos</i>	4
2.1.3 <i>Partes afectadas por la calidad del agua en un caldero pirotubular.</i>	5
2.2 Principales problemas en un caldero pirotubular.....	7
2.2.1 <i>Incrustaciones</i>	7
2.2.2 <i>Corrosión</i>	8
2.2.3 <i>Arrastres</i>	10
2.3 Importancia del tratamiento de agua de calderos pirotubulares y tipos de tratamientos.....	11
2.3.1 <i>Tipos de tratamientos primarios de agua</i>	11
2.4 Ablandador, partes y tipos de ablandadores	14
2.4.1 <i>Tipos de ablandadores</i>	15
2.4.2 <i>Resinas de intercambio iónico y tipos de resinas</i>	16
2.5 Parámetros a controlar en el agua del caldero	17
2.6 Metodologías de seleccionamiento de ablandadores	18
2.7 Norma utilizada para el desarrollo de la propuesta tecnológica	21
3. ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL DEL CALDERO, MANTENIMIENTO DEL CALDERO Y SELECCIÓN DEL NUEVO ABLANDADOR	
3.1 Metodología utilizada	22
3.1.1 <i>Análisis del estado inicial del caldero</i>	22
3.1.2 <i>Determinación de los problemas existentes en el caldero</i>	22
3.1.3 <i>Asesoramiento de la Empresa TESQUIMSA</i>	22
3.1.4 <i>Mantenimiento del caldero</i>	23
3.1.5 <i>Análisis químico del agua</i>	23
3.1.6 <i>Dimensionamiento del ablandador</i>	23
3.1.7 <i>Selección del ablandador</i>	23
3.1.8 <i>Instalación del ablandador</i>	23
3.1.9 <i>Puesta en marcha del ablandador y verificación del correcto funcionamiento</i>	24
3.1.10 <i>Realización del manual de mantenimiento del ablandador</i>	24
3.2 Análisis del estado inicial del caldero existente en la Escuela de Mantenimiento.	24
3.2.1 <i>Estado inicial del hogar</i>	24
3.2.2 <i>Estado inicial de los tubos</i>	25

3.2.3	<i>Estado inicial de los espejos</i>	26
3.3	Capacitación recibida por TESQUIMSA	26
3.4	Mantenimiento del caldero	27
3.5	Análisis químico del agua	30
3.6	Dimensionamiento del ablandador	30
3.7	Selección del ablandador adecuado	32
4.	INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO DEL NUEVO ABLANDADOR	
4.1	Manual de instalación del ablandador	36
4.1.1	<i>Instalación de acoples del cabezal a la tubería</i>	36
4.1.2	<i>Instalación del cabezal en el tanque de resina</i>	38
4.1.3	<i>Instalación del tanque de salmuera al cabezal</i>	39
4.2	Puesta en marcha del ablandador	40
4.3	Programación del cabezal	42
4.3.1	<i>Verificación del correcto funcionamiento</i>	48
4.4	Manual de mantenimiento del ablandador	48
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	50
5.2	Recomendaciones	50

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Tipos de calderos 5
2	Pérdidas de transferencia de calor a consecuencia de incrustaciones..... 8
3	Energía transmitida/hora..... 8
4	Solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua 9
5	Tipos de tratamientos primarios de agua 12
6	Tipos de resinas de intercambio iónico 16
7	Parámetros óptimos del agua del caldero 18
8	Clasificación de la dureza del agua 19
9	Variación de resina y consumo de salmuera 20
10	Ablandador capacidad flujo normal 20
11	Regeneración de resina 21
12	Resultado del agua del caldero 30
13	Resultado del agua de alimentación 30
14	Tipos de ablandadores 33
15	Resultado actual del agua del caldero..... 48
16	Resultado actual del agua de alimentación..... 48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Caldero.....	3
2 Caldero acuatubular	4
3 Caldero pirotubular.....	5
4 Ablandador	14
5 Descripción del ablandador	15
6 Válvulas de desfogue rápido y lento.....	24
7 Apertura de tortugas	25
8 Hogar con incrustación del caldero	25
9 Tubos con incrustación del caldero	26
10 Espejos con incrustación del caldero.....	26
11 Tanque y bomba de tratamiento químico	28
12 Tubos limpios del caldero.....	29
13 Espejo limpio del caldero	29
14 Hogar limpio del caldero	29
15 Ablandador de agua	35
16 Acoples del cabezal	36
17 Uniones macho	37
18 Pegamento de tubería.....	37
19 Acoples unidos con uniones macho.....	37
20 Filtro unido al cabezal	38
21 Conexión del cabezal al tubo del tanque de resina.....	38
22 Conexión del cabezal al tanque de resina	39
23 Tanque de salmuera	39
24 Ablandador instalado	40
25 Colocación de Resina	41
26 Colocación de salmuera.....	41
27 Enchufe del ablandador	42
28 Igualación del reloj del ablandador	42
29 Seteo de días para regeneración.....	43
30 Seteo de la Hora de regeneración	43
31 Encendido de la regeneración.....	44
32 Selección del tipo de regeneración	44
33 Colocación del tiempo de retro lavado	45
34 Colocación del tiempo de regeneración.....	45
35 Colocación del tiempo de enjuague.....	46
36 Colocación del tiempo de aclarado.....	46
37 Colocación de la cantidad de salmuera.....	47
38 Colocación del galonaje.....	47

LISTA DE ABREVIACIONES

RCM	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
EPP	Equipo de Protección Personal
PSI	Libra-Fuerza por Pulgada Cuadrada
GPG	Grano por Galón
PP	Pates por Millón
BTU	Unidad Térmica Británica
ABMA	Asociación de los fabricantes y proveedores de calderos
SI	Sistema Internacional de Unidades
AMEF	Análisis de Modo Efecto y Falla

LISTA DE ANEXOS

- A** Información de la empresa TESQUIMSA
- B** Detalle de los productos químicos utilizados para el mantenimiento correctivo
- C** Encendido del caldero
- D** Metodología de las pruebas de agua de caldero
- E** Manual de mantenimiento

RESUMEN

Se ha seleccionado e instalado un ablandador de agua para el caldero existente en la escuela de Ingeniería de Mantenimiento perteneciente a la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, donde se necesitaba un adecuado tratamiento de agua, con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento del equipo y de esta manera prevenir futuros problemas en él mismo.

Adicional a esto, se realiza un análisis del estado inicial del caldero, dando como resultado problemas de corrosión e incrustaciones, por lo que se hizo necesario un mantenimiento correctivo, llegándose a determinar que el ablandador se encuentra en malas condiciones de operación y como consecuencia de ello decidir el cambio de elementos o adquisición completa del equipo.

Previo a la selección del ablandador adecuado, se realizó un análisis químico del agua con el apoyo de la Empresa TESQUIMSA y basado en la Norma ABMA, con estos resultados obtenidos se llegó a establecer la necesidad de seleccionar un ablandador nuevo, donde el dimensionamiento del mismo está basado en la metodología de la Empresa VDE. Se realizó la instalación del ablandador, programación, puesta en marcha del caldero y pruebas del correcto funcionamiento del ablandador, verificando la variación de los parámetros químicos del agua. Una vez realizado este proceso se procedió a desarrollar el manual de mantenimiento para el ablandador y ordenes de trabajo.

Con la instalación del ablandador adecuado se controla los parámetros que afectan perjudicialmente al caldero y de esta manera se logra el correcto funcionamiento del mismo y alcanzar la vida útil del activo.

ABSTRACT

The present research was aimed at selecting and installing a water softener for the existing boiler at Maintenance Engineering School, Mechanic Faculty, ESPOCH; where adequate water treatment was needed, in order to ensure the proper functioning of equipment and prevent future problems. In addition, an analysis of the initial state of the cauldron was made, resulting in problems of corrosion and scale, so proper maintenance, getting, determining that the softener is in poor operating conditions and as a result it became necessary to decide this change of elements or complete acquisition of equipment. Previous to selecting the right softener, a chemical water analysis with the support of the TESQUIMSA Company was performed and based on the Standard ABMA, with these results was reached to establish the need to select a new tenderizer, where the sizing of the same; it was based on the methodology from VDE Company, Softener installation, programming, commissioning and testing of cauldron correct operation was performed, verifying the change in water chemistry parameters. Once this process proceeded to develop the maintenance manual for softener and work orders. With the installation of appropriate parameters tenderizer, detrimentally affect the cauldron and thus the correct operation was achieved and achieve the life of the asset.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica tiene un laboratorio de vapor en el cual se destaca un caldero pirotubular, el que fue sometido a un estudio general, para su correcto funcionamiento, de éste estudio se llega a recomendar que se realice un análisis químico del agua de alimentación al caldero con la finalidad de evitar daños en el lado de agua del caldero.

El estudio da como resultado que el caldero posee problemas en el lado de agua de incrustaciones y corrosión, por lo que se debe analizar el agua de alimentación del caldero y como eliminar estos problemas.

Por lo cual se plantea la siguiente propuesta tecnológica “Selección e instalación de un ablandador adecuado para el tratamiento de agua del caldero existente en la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento”, analizando todos los aspectos involucrados desde el punto de vista del mantenimiento y por ende la eficiencia del equipo.

1.2 Justificación

Uno de los principales elementos involucrados en los procesos industriales es el vapor, que se utiliza en trabajos como: esterilización, limpieza, calentamiento, movimiento, hidratación, generación de electricidad, entre otros. Por lo cual el vapor tiene que cumplir con diferentes características de calidad dependiendo del proceso en el que se utilice.

La calidad del vapor se logra cuando se trata correctamente el agua de alimentación del caldero, por lo que se hace necesario seleccionar un ablandador en base al estado en que se encuentra el caldero y al análisis químico del agua de alimentación. Todo este trabajo es necesario para obtener un equipo de laboratorio que funcione apropiadamente en la generación eficiente de vapor y facilite el aprendizaje a través de las prácticas de

laboratorio correspondientes.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Seleccionar e instalar el ablandador adecuado para el tratamiento de agua del caldero existente en la escuela de Ingeniería de Mantenimiento.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Analizar el estado actual del caldero del laboratorio de vapor de la Facultad de Mecánica.
- Analizar químicamente el agua de alimentación del caldero.
- Determinar el tipo de tratamiento de agua para la alimentación del caldero.
- Seleccionar el ablandador.
- Elaborar el manual de instalación y mantenimiento del ablandador.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición, funciones, tipos y partes de un caldero

Caldero es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica (ABARCA BAHAMONDES, 2012).

Figura 1. Caldero



Fuente: Autores

2.1.1 *Funciones del caldero.* La función del caldero es mediante la transferencia de calor, producido generalmente al quemarse un combustible, el que se le entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálico para generar vapor o agua caliente a determinada presión y temperatura (ABARCA BAHAMONDES, 2012).

Función principal:

- Generar vapor o agua caliente a una determinada temperatura y presión.

Funciones secundarias:

- Contener agua tratada.
- Transportar todos los gases de la combustión hacia el exterior del laboratorio.

- Almacenar el vapor generado.

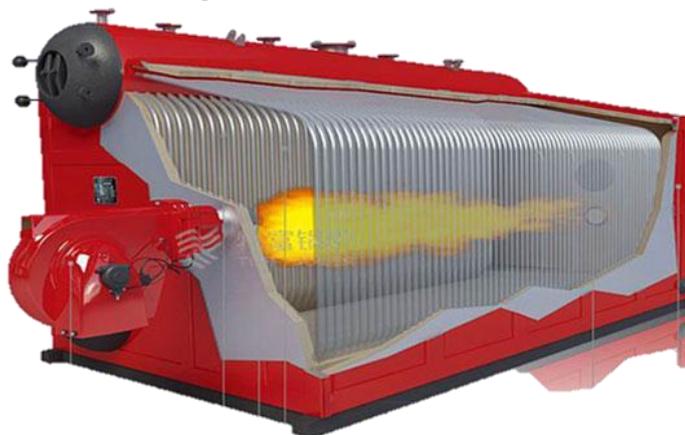
Descripción de la función. El funcionamiento de un caldero se basa en la transformación del agua en estado líquido a vapor, este cambio de estado se lo realiza con la aplicación de calor mediante un quemador que se encuentra acoplado al hogar del caldero.

Para lograr este cambio del agua se necesita equipos adicionales o externos que nos ayudan en este proceso y así asegurar la calidad del vapor, también debe tener en cuenta que la calidad del agua es un elemento fundamental en el proceso de transformación porque el agua es la materia prima de todo el proceso.

2.1.2 *Tipos de calderos.* Existen dos grandes tipos de calderos (CID, 2012):

- *Calderos de tubos de agua o acuatubulares.* En este tipo de caldero 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. Teniendo en cuenta el elevado el número de tubos que pueden instalarse, la superficie de calefacción puede ser muy grande para dimensiones relativamente reducidas. Por esta razón, su puesta a régimen es muy rápida, teniendo en cuenta la posibilidad de producir vapor a elevadas presiones.

Figura 2. Caldero acuatubular

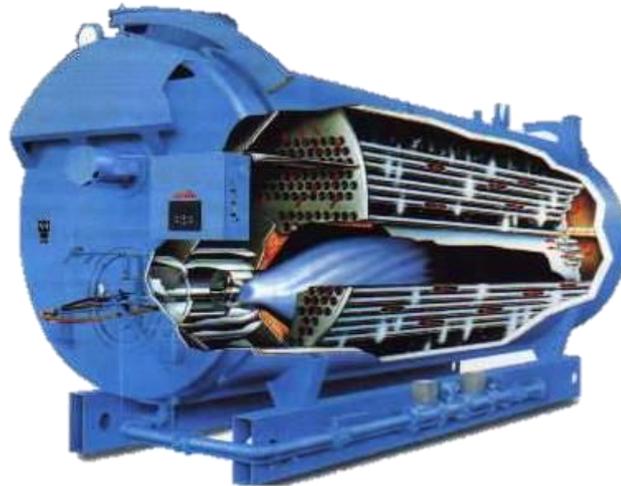


Fuente: <https://calderaindustriales.wordpress.com>

- *Calderos de tubos de fuego o piro tubulares.* Se pueden explicar como un cilindro compacto que contiene agua que atraviesa 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 rodeados de agua.

Figura 3. Caldero pirotubular



Fuente: <https:// data:image/jpeg;base64>

En la siguiente tabla se presentan los diferentes tipos de calderos:

Tabla 1. Tipos de calderos

Calderos acuotubulares	Circulación natural	De tubos restos	
		De tubos curvados	
		Sterling	
		Compactas modernas	Tipo A Tipo O Tipo D
	Circulación forzada	Superficiales	
		Serpentines	
Calderos pirotubulares	Hogar exterior	Retorno horizontal	
		Tipo económico	
		Hogar de locomotora	
	Hogar interior	Vertical	
Horizontal			

Fuente: Autores

2.1.3 *Partes afectadas por la calidad del agua en un caldero pirotubular.* Las partes que se ven afectadas por la calidad del agua son (SPIRAX SARCO, 2012):

- *Cuerpo del Caldero.* Es un conjunto que lo constituyen las siguientes partes:

Carcaza. Es el cilindro del caldero, en donde se realiza dos orificios: MAN HOLE y HAND HOLE, que nos sirven para las tareas de mantenimiento como son las inspecciones, toma de muestra de agua y purgas que se le realizan al caldero.

Hogar. Es la cámara o espacio donde se produce la combustión del caldero, existen dos diseños de hogar:

- Hogar Ondulado
- Hogar Liso

Tubos. Los tubos nos ayudan con la conducción de los gases producidos por la combustión hacia la chimenea y tienen como función adicional ser tensores para que los espejos no se abomben por acción de las diferentes cargas y presión que soportan.

Espejos. Son planchas de acero circulares previstas de perforaciones para alojar a los tubos y al hogar, que en conjunto con la carcaza cierran el lado de agua del caldero.

Accesorios de control. Son los distintos elementos que nos permiten controlar las distintas funciones del caldero y que se encuentran instalados de forma idónea en el caldero.

Control de nivel de agua. Llamado también McDonnell, controla el ingreso del agua al caldero para que de esa manera el nivel de agua permanezca constante, además está constituido por válvulas de purga y el visor de nivel.

Presóstatos. Son elementos que controlan la presión de operación y la alta presión del caldero.

Accesorios de seguridad. Son todos los elementos que tienen por función detener la operación del caldero en caso que se sobrepase cualquier parámetro de correcto funcionamiento del caldero.

Válvula de seguridad. Es la encargada de liberar el vapor del caldero cuando la presión sobrepasa a la presión máxima de trabajo, esta válvula opera mecánicamente con la sobrepresión.

Todas las partes anteriormente mencionadas posee el caldero del laboratorio de generación de vapor de la Facultad de Mecánica y al cual se realizará la presente propuesta tecnológica.

2.2 Principales problemas en un caldero pirotubular

Los principales problemas existentes en un caldero son: incrustación, corrosión y arrastres. Todos estos originados por el deficiente o nulo tratamiento de agua de alimentación del equipo (CID, 2012).

2.2.1 Incrustaciones. Toda agua en la naturaleza por muy pura que aparente ser se encuentra con una gran cantidad de sales minerales disueltas, esto se debe a que toda agua se encuentra en contacto con el ambiente o se encontró en contacto con grandes capas de minerales durante su cauce en la naturaleza.

Sin duda alguna las sales de calcio y magnesio son las más peligrosas y consideradas en el tema a tratar, el grado de peligrosidad de éstas aguas para un caldero se torna en el momento de trabajo del equipo, porque las sales mencionadas son poco solubles originando a que dichas sales precipiten sobre las superficies del equipo, formando capas duras y aislantes de difícil remoción, a este fenómeno se lo denomina incrustación.

Las sales que comúnmente forman la dureza son las siguiente: calcio, magnesio, bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, nitratos y cloruros, el porcentaje o grado de contenido de los mismos en el agua se los determina mediante un análisis o estudio de aguas y su contenido se lo expresa en ppm o gpg.

Consecuencias:

Dentro de las consecuencias por presencia de incrustaciones tenemos las siguientes:

- Pérdida de eficiencia del caldero.
- Mayor consumo de combustible para producir el mismo trabajo, se dice que 2.5mm de espesor de incrustación representaría un 16% más de consumo.

- Sobrecalentamiento de los tubos del caldero.
- Las fallas ocasionadas a causa de las incrustaciones resultan ser muy costosas y de intervalos de reparación prolongados.
- Presencia de corrosión bajo las incrustaciones formadas.

Por naturaleza la presencia de incrustaciones conlleva a gastos excesivos de combustibles ya que en el equipo se da grandes pérdidas de calor por lo tanto se ha visto necesario mostrar una tabla de las pérdidas de transferencia de calor a consecuencia de formación de incrustaciones.

Tabla 2. Pérdidas de transferencia de calor a consecuencia de incrustaciones

Espesor de la incrustación		Pérdida de calor [%]
[pulg]	[mm]	
0,02	0,51	4
0,03	0,76	7
0,04	1,02	9
0,05	1,27	10
0,06	1,52	13
0,09	2,28	15
0,11	2,79	18

Fuente: <https://williamteneda.wikispaces.com>

Tabla 3. Energía transmitida/hora

Temperatura externa de los tubos [°F]	Miles de BTU transmitidos/hora	
	Tubo sin incrustación	Tubo con incrustación
212	0,013	0,011
382	0,277	0,221
572	0,655	0,522
752	1,344	1,077

Fuente: <https://williamteneda.wikispaces.com>

2.2.2 Corrosión. Se conoce como corrosión al fenómeno de degradación de un material comúnmente un metal, que es atacado de forma electroquímica por su entorno, este fenómeno consiste en quitar paulatinamente las características físicas y estructurales de un metal y como consecuencia la desmembración del mismo.

Causas:

- El oxígeno que se encuentra disuelto en el agua

- La existencia de incrustaciones en el caldero.
- La existencia de dióxido de carbono.
- Presencia de elevadas temperaturas en el equipo.
- Existencia de ácidos tanto orgánicos como inorgánicos.

Hay que tomar en cuenta que aparte del oxígeno de la propia composición de agua, en ella se puede disolver oxígeno por el simple hecho de encontrarse en contacto directo con la atmósfera y mientras más baja temperatura tenga el agua mayor será la facilidad de disolver oxígeno en sí, a continuación se describirá la tabla de la solubilidad del oxígeno del aire en el agua.

Tabla 4. Solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua

Temperatura [°F]	Oxígeno [cc/litro]	Disuelto [ppm]
30	10,0	14,30
50	8,0	11,43
70	6,2	8,87
90	5,2	7,45
110	4,3	6,15
130	3,8	5,44
150	3,1	4,43
170	2,4	3,43
190	1,5	2,15
210	1,0	1,43

Fuente: <https://williamteneda.wikispaces.com>

Consecuencias:

- Degradación de las paredes y tubos del caldero.
- Mayores costos de mantenimiento.
- Pérdidas de eficiencia.
- Múltiples fallos potenciales.

Solución:

Dos son los métodos utilizados para contrarrestar estos fenómenos perjudiciales.

- La desgasificación del agua por acción de la temperatura la cual se lleva a cabo con la ayuda de equipos especiales o desgasificadores con el fin de eliminar el oxígeno y el dióxido de carbono contenido en el agua.

- Tratamiento químico del agua utilizada en la alimentación del caldero.

Ambos tratamientos son recomendados ya que la utilización de los mismos compensa en la reducción o mitigación de los fallos en el equipo a causa de la corrosión.

2.2.3 Arrastres. El arrastre es uno de los fenómenos que se origina en el momento que el vapor generado por un caldero empieza a llevar consigo pequeñas gotas o partículas de agua en estado líquido, dichas gotas de agua arrastradas por el vapor son perjudiciales ya que a más de reducir la eficiencia de equipo no aportan con ningún valor calórico dentro del vapor generado y tampoco es útil para el proceso que se utiliza el vapor, a más de ello el arrastre puede ser el causante de múltiples fallas dentro de los elementos del caldero o circuito del vapor.

Causas:

Varias son las causas por las que se pueden originar los arrastres en un caldero por lo tanto se hará mención de las causas más comunes:

- Por defectos propios de la construcción del equipo.
- Por abastecer niveles excesivos de agua dentro del equipo.
- Por alimentación de agua contaminada con cualquier tipo de aceites.
- Por un alto grado de sólidos disueltos contenidos en el agua de alimentación.

De las causas que originan arrastres mencionadas anteriormente la más posible recae sobre la especificada en el último ítem que menciona la creación de arrastres por los altos contenidos de TDS (sólidos totales disueltos) en el agua de alimentación, una vez identificado éste percance se ha visto la necesidad de especificar los contenidos admisibles de TDS en función de la presión de cada equipo.

Consecuencias por contenido de Sólidos Totales Disueltos (TDS)

- Pérdida de eficiencia en el caldero
- Incrustaciones y por ende corrosión.
- Obstrucciones de cañerías, válvulas o elementos de seguridad.

- Costo de operación elevado.

2.3 Importancia del tratamiento de agua de calderos pirotubulares y tipos de tratamientos

Es importante mantener un tratamiento cuidadoso y rutinario de las condiciones del agua de alimentación en un caldero. Si por algún motivo el proceso de ablandamiento es omitido o es deficiente, por más corto que haya sido el lapso de tiempo, los daños se pueden originar por presencia de incrustaciones, arrastres o corrosiones (OELKER BEHN, 2010).

Es importante tener en cuenta que la falla del equipo puede ser potencial, pero el daño está presente en el mismo, cabe indicar que la magnitud del daño o la falla producida va a ser directamente proporcional al tiempo que el caldero opero con aguas no tratadas y el grado de dureza del agua que ingreso al equipo.

De lo mencionado se desprende la necesidad que tiene toda Industria de mantener un control de ablandamiento rutinario y constante control de las condiciones de los calderos.

2.3.1 *Tipos de tratamientos primarios de agua.* En la siguiente tabla se detallan los diferentes tipos de tratamiento de agua:

Tabla 5. Tipos de tratamientos primarios de agua

Ítem	Nombre	Definición	Ventajas	Desventajas
1	Filtración	Es un proceso físico que no altera las características químicas del agua, por medio de este se trata eliminan partículas en suspensión de mayor tamaño, haciendo pasar el agua a través de un lecho filtrante normalmente constituido por lechos de arena de diferente granulometría.	<ul style="list-style-type: none"> – Su costo resulta económico. – Fácil instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> – Requiere de mantenimiento continuo. – La saturación de un filtro lleva a consecuencias irreparables.
2	Coagulación-floculación	Estos dos tratamientos se aplican juntos, ya que con el primero se desestabilizan los coloides y con el segundo se aglutinan para formar agregados de gran tamaño y proceder a su fácil eliminación por sedimentación.	<ul style="list-style-type: none"> – Requiere menos tiempo que una decantación. – Es de operación simple. – Gran adaptación a fluctuaciones de concentraciones de contaminantes contenidos en las aguas a tratar. 	<ul style="list-style-type: none"> – Requiere uso de insumos constantes – Genera lodos y estos pueden ser peligrosos dependiendo la toxicidad. – Requiere planes de manejo de lodos.
3	Descarbonatación	Es un proceso, realizado normalmente para disminuir la dureza del agua, se realiza una precipitación de las sales de dureza asociadas a los carbonatos y bicarbonatos.	<ul style="list-style-type: none"> – Como producto químico se utiliza Cal. 	<ul style="list-style-type: none"> – Solo elimina la dureza natural o parcial del agua.
4	Ultrafiltración	Es una técnica de tratamiento del agua mediante la utilización de membranas semipermeables, que retienen los sólidos en suspensión o contaminantes orgánicos, dejando pasar el agua y las sales disueltas.	<ul style="list-style-type: none"> – No cambia ni es necesario que el agua de alimentación de fase líquida pase a otra. – Su operación puede ser continua. – Ahorro de energía por operar a bajas presiones. 	<ul style="list-style-type: none"> – Alto costo de inversión de capital inicial – Saturaciones continuas de las membranas filtrantes – Para mayores requerimientos de caudal los equipos suelen ser más grandes y costosos
5	Ablandamiento iónico	Este procedimiento consistente en el intercambio de iones entre el agua a tratar (constituidos por cationes y aniones) y los de la resina, que permite la obtención de aguas a diferente grado de pureza	<ul style="list-style-type: none"> – Es amigable con el medio ambiente. – Altas velocidades de flujo de agua tratada. – Bajo costo de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> – Adsorción de la materia orgánica. – Contaminación de la materia orgánica.

			<ul style="list-style-type: none"> – Costo moderado de instalación. – Las resinas pueden ser regeneradas fácilmente. – No requiere personal continuo para la operación. – Ataque directo a sales de calcio y magnesio. 	
6	Osmosis inversa	Es un proceso de filtración sobre una membrana semipermeable a presiones medias o altas que permite la separación selectiva de los iones del agua.	<ul style="list-style-type: none"> – No es nociva con el medio ambiente. – Requiere mínimas cantidades de energía para su funcionamiento. – Equipos de fácil uso – Eliminación de varias sales minerales. 	<ul style="list-style-type: none"> – Recomendado para usos residenciales, para usos industriales resulta muy costoso. – Este tipo de tratamientos requieren una enorme cantidad de agua. – El tiempo de tratamiento es muy prolongado. – Para la ejecución del tratamiento el agua de alimentación debe estar libre de bacterias.
7	Electrodialisis	Es un proceso de gran aplicación en el sector de tratamiento de agua para calderas de media y alta presión, consistente en una aplicación conjunta de una diferencia de potencial entre un cátodo y un ánodo y membranas permeables selectivas.	<ul style="list-style-type: none"> – De operación simple. – Se puede ajustar para el uso con sistemas pequeños. – Por lo general funciona automáticamente con pocos requisitos de mantenimiento y funcionamiento. – Puede utilizar diferentes fuentes de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> – Requiere gran cantidad de energía para producir la corriente constante que impulsa la purificación y bombea el agua a través del sistema. – Necesita purificación previa – No se puede usar para aguas de dureza superior a 1ppm.
8	Desgasificación	La operación de eliminación de los gases disueltos en el agua de alimentación requiere normalmente de una mezcla de sistemas mecánicos y químicos.	Alta eliminación del oxígeno del agua que puede ocasionar la corrosión en tubos.	Solo elimina el oxígeno del agua más no la dureza.

Fuente: Autores

Una vez analizados los diferentes tipos de tratamiento de agua, se escoge Ablandamiento Iónico, porque es amigable con el medio ambiente, se puede trabajar con altas velocidades de flujo de agua tratada, el costo de mantenimiento es bajo, tiene un moderado costo de instalación, las resinas pueden regenerarse fácilmente, no requiere la presencia de personal continuo para la operación del equipo, el tratamiento actúa directamente a sales de calcio y magnesio.

2.4 Ablandador, partes y tipos de ablandadores

El ablandador es un equipo que en varios medios es conocido también como descalcificador o suavizador cuya misión principal es la reducción al máximo de sales minerales contenidas por el agua al ingreso de un caldero, la mitigación de dichos minerales es posible a través de medios mecánicos, electrónicos y químicos que ofrece el equipo ablandador, de esta forma se podrá contrarrestar posibles daños en un caldero y garantizar el buen funcionamiento del mismo (YANEZ, 2011).

Figura 4. Ablandador



Fuente: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com>

Los equipos ablandadores están estructurados o previstos de un tanque construido en polietileno reforzado con fibra de vidrio a su vez este tanque contiene dentro un elemento filtrante conocido como resina de intercambio iónico, en la actualidad estos equipos también van de la mano con la tecnología digital por ello también en la mayoría de los equipos podemos encontrar un cabezal electrónico digital cuya función es ejecutar el lavado y regeneración automática de la resina.

Figura 5. Descripción del ablandador



Fuente: <http://www.osmovic.com.ar>

Esta resina es la sustancia que cumple la función de retener las sales de calcio y magnesio del agua e intercambiarlos por sodio. De esta forma el agua ingresa al filtro ablandador como agua dura ya sea con sales o cualquier otro tipo de mineral disuelto, lo atraviesa y luego se obtiene del mismo totalmente blanda.

Otro componente del ablandador es un tanque, cuya capacidad es de acuerdo a los requerimientos del usuario que contiene dentro agua con sal para la regeneración de la resina, por esta razón recibe el nombre de tanque salero o tanque de salmuera.

2.4.1 Tipos de ablandadores. A continuación se detallan los diferentes tipos de ablandadores:

Mecánicos. Los ablandadores mecánicos son equipos que se basan el proceso de osmosis inversa, cuyo proceso consiste en hacer pasar el agua a través de una membrana semipermeable a presiones considerables. Obteniendo como resultado que atravesase agua pura después de la membrana, dejando de un lado las partículas o sales minerales. La presión de agua que atraviesa la membrana del equipo está en función o depende de las características de construcción de la membrana.

Químicos. Este proceso consiste en realizar la circulación de agua a través de un compuesto químico de sales de sodio o potasio. Originando como resultado del proceso que los iones de calcio y magnesio sean reemplazados por iones de sodio o potasio. La gran ventaja de este proceso es que el sodio o potasio liberado no se adhiere o se incrusta a las paredes de las tuberías de los calderos ni reacciona con el jabón.

Hay que tomar muy en cuenta que después de un intervalo determinado de tiempo los iones de sodio son reemplazados completamente por los de calcio o magnesio originando que el ablandamiento del agua ya no sea efectivo. Entonces es el momento de reemplazar el paquete o pastillas de zeolita por unas nuevas.

2.4.2 Resinas de intercambio iónico y tipos de resinas. La palabra resinas no es un tema nuevo por lo contrario, tanto la desmineralización como el ablandamiento del agua por medio de resina sintéticas se lo viene utilizando desde hace unas 5 décadas (YANEZ, 2011).

Estas sustancias no son más que polímeros o macromoléculas derivados del estireno, benceno o fenol, todas anteriormente mencionadas son provenientes del petróleo.

Tipos de resinas de intercambio iónico. A continuación se presenta los tipos de resinas de intercambio iónico.

Tabla 6. Tipos de resinas de intercambio iónico

Catiónicas	De ácido fuerte
	De ácido débil
Aniónicas	De base fuerte
	De base débil

Fuente: Autores

Resinas catiónicas. Son aquellas resinas cuya afinidad es por los cationes, es decir, esta resina absorbe los iones positivos de calcio, magnesio, sodio e hidrogeno.

Resinas aniónicas. Por lo contrario de las resinas catiónicas, estas tienen afinidad por los iones negativos de carbonatos, sulfatos o cloruros.

El fundamento de utilización o la característica común de las resinas de intercambio iónico es que cuando estas se encuentran en presencia de un determinado tipo de ion en solución ceden el ion que llevan adherido cambiándolo por los iones encontrados en dicha solución.

Regeneración de resinas. Una propiedad muy positiva de las resinas es que el intercambio puede ser revertido, solo basta con varias condiciones del proceso, de esta

forma esta característica puede ser aprovechada para un uso de intercambio repetitivo e indefinido.

2.5 Parámetros a controlar en el agua del caldero

Los principales parámetros del agua a controlarse en un caldero son (TESQUIMSA, 2016):

- *Análisis del PH.* Se realiza el control del pH del caldero para evitar el fenómeno llamado fragilidad cáustica por la presencia de hidróxidos como el carbonato de calcio. El rango aceptable de pH es de 10,5 y 11,5 en el agua del caldero.
- *Análisis del Hierro.* Este análisis se efectúa para detectar la presencia de corrosión en el agua del caldero, el rango aceptable de hierro es de 10 ppm.
- *Análisis de la Dureza del Agua.* Este parámetro se analiza para conocer si se está formando incrustaciones internas y el rango permisible de dureza es menor a 10ppm. La alcalinidad total se refiere a bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.
- *Análisis de la Sílice (SiO₂).* La sílice ingresa al caldero con el agua de reposición que una vez adentro debe reaccionar con el magnesio para formar compuestos en forma de lodo, que salen fácilmente por la purga.
- *Sólidos Totales.* Los valores adecuados deben estar alrededor de los 3500 ppm, cuando los sólidos totales están muy altos de los parámetros recomendados pueden haber arrastre de sólidos del agua del caldero hacia las líneas de vapor.
- *Porcentaje de Purga.* Se calcula según el número óptimo de ciclos. La purga es un factor importante para mantener el caldero sin incrustaciones, así como para regular el nivel de los químicos en el agua del caldero.

De todos los parámetros expuestos anteriormente, los de mayor importancia para el control en el caldero son: la dureza, el hierro, los sólidos disueltos y el porcentaje de purga. Ya que son los parámetros que mayores problemas producen en el interior del caldero, aumentando el consumo de combustible y aumentando la falla del caldero.

Tabla 7. Parámetros óptimos del agua del caldero

Dureza	Menor a 10ppm
PH	10,5 – 11,5
TDS	Menor a 3500 ppm
Alcalinidad T.	300–1800ppm
Fosfatos	30 – 60
Sulfitos	30 – 60
Sílice	Variable
Hierro	Menor o Igual a 1 ppm
Cloruros	Variable

Fuente: TESQUIMSA

2.6 Metodologías de seleccionamiento de ablandadores

A continuación se detallará los diferentes tipos de metodologías que se utilizan para el seleccionamiento de ablandadores:

Metodología de la empresa TESQUIMSA. La metodología utilizada por parte de la Empresa TESQUIMSA para la selección de ablandadores es la siguiente:

- Realizar un análisis químico del agua de alimentación del caldero, dicho análisis consta de:

Análisis de TDS (solidos totales disueltos).

Análisis de dureza del agua

Análisis de presencia de hierro en el agua.

Análisis del PH.

- Dimensionar el ablandador.

Metodología de la empresa VDE. La metodología utilizada por parte de la Empresa Villarreal División Equipos S.A. para la selección de ablandadores es la siguiente:

- Dureza del agua

Este valor se debe determinar de la siguiente manera:

Medidor de dureza. Nos puede dar partes por millón o bien directamente los granos de dureza por galón de agua. Estos trabajan con una muestra de agua a la cual se le coloca un agente que se diluye o disuelve en el agua y luego se le coloca un reagente por gotas hasta que cambie de color y las gotas nos indican los granos de dureza o bien una equivalencia de ppm por gota.

- Niveles de dureza del agua, resina y capacidad de un ablandador

La dureza en el agua es muy variable y como determinamos si el agua es suave o dura. De acuerdo a la Asociación de Calidad de Agua de Estados Unidos (WQA por sus siglas en Ingles) y de la cual VDE es miembro tenemos:

Clasificación de dureza del agua es la siguiente:

Tabla 8. Clasificación de la dureza del agua

Granos por galón [gpg]	Dura/suave
Menos de 1	Suave
1 – 3,5	Ligeramente Dura
3,5 – 7,0	Moderadamente Dura
7.0 – 10,5	Dura
10,5 o más	Muy Dura
30 o más	Extremadamente Dura

Fuente: <https://vde.com.mx>

Cuando el agua es muy dura, por ejemplo agua de 50 o 100 granos es posible que la dureza de salida no baje a niveles cercanos a 3 granos/galón. En este caso la resina no logra retirar toda la dureza del agua y por lo tanto se debe de buscar pasar el agua más lento para dar más tiempo de contacto con la resina y/o regenerar con más cantidad de sal. Si son aplicaciones más críticas donde el agua es muy dura y la dureza de salida pueda afectar el proceso es importante revisar bien con el cliente y con nuestro departamento técnico la sugerencia de equipos a trabajar.

La resina catiónica para intercambio iónico es lo que nos permite ablandar el agua. Esto se hace cambiando el calcio/magnesio por sodio conforme el agua pasa por la resina. Una vez que esta resina se llena de calcio/magnesio y se agota el sodio se debe regenerar la resina con una solución de agua con sal conocida como salmuera.

Un pie cúbico de resina tiene una capacidad de 25 000 granos a 9 libras de sal pero puede variar si varía la cantidad de sal que se utiliza para regenerarla. La capacidad estimada de 1 pie cúbico de resina al regenerarse con:

Tabla 9. Variación de resina y consumo de salmuera

Salmuera [lb.]	Resina [granos]	Característica
6	20 000	Ahorra sal pero se regenera con más frecuencia
9	25 000	Consumo normalmente usado
12	28 000	Mayor consumo pero menos regeneraciones

Fuente: <https://vde.com.mx>

La capacidad de un ablandador varía de acuerdo a los pies cúbicos de resina y a la cantidad de sal que se utiliza para regenerar. 1 galón de agua disuelve 3 lb de sal o bien 1 litro de agua disuelve 360 gramos de sal.

Por otro lado un pie cúbico de resina también tiene un flujo de agua que es capaz de suavizar:

- Flujo Normal por pie cúbico: 5 gpm
- Flujo Pico por pie cúbico: 7,5 gpm hasta 50% adicional.

Si consideramos un flujo pico es importante pensar en que no se pudiera ablandar el 100% del agua como en un flujo normal. También es importante revisar la válvula que estamos utilizando la cual tiene una capacidad de flujo normal en la que pierde 15 psi de presión y una de flujo pico la cual pierde 25 psi de presión. Estas serían limitantes en nuestro ablandador. De acuerdo a lo anterior, considerando la capacidad de resina de un ablandador y 9 libras de sal por regeneración tenemos:

Tabla 10. Ablandador capacidad flujo normal

Ablandador [ft³]	Capacidad [granos]	Flujo normal [gpm]
1,0	25 000	5,0
1,5	37 500	7,5
2,0	50 000	10,0
2,5	62 500	12,5
3,0	75 000	15,0
4,0	100 000	20,0
5,0	125 000	25,0
7,0	175 000	35,0
100,0	250 000	50,0

Fuente: <https://vde.com.mx>

- Cálculo de ablandador de agua para calderos.

Ya contamos con la dureza del agua, la cantidad de agua a ablandar y el flujo en gpm.

Considerando una dureza de 300 ppm (17,54 granos de dureza) se calcula la cantidad total de granos de dureza a ablandar, 400 galones de agua por 17,54 granos de dureza/galón da 7016 granos por día.

De acuerdo a las capacidades de los ablandadores y considerando 9 libras de sal por regeneración, tenemos el tiempo de regeneración para cada ablandador.

Tabla 11. Regeneración de resina

Ablandador [f^3]	Fórmula	Días
1,0	25 000 granos/7016 granos/día	3,56
1,5	37 500 granos/7016 granos/día	5,34
2,0	50 000 granos/7016 granos/día	7,12
2,5	52 500 granos/7016 granos/día	8,90
3,0	75 000 granos/7016 granos/día	10,68

Fuente: <https://vde.com.mx>

De los procedimientos expuestos anteriormente, se escoge el análisis químico del agua de la metodología de la Empresa TESQUIMSA, porque dicho análisis nos brinda un estudio profundo de los parámetros más importantes para la selección de ablandadores. Mientras tanto el dimensionamiento se lo escoge de la metodología de la Empresa VDE, porque esta Empresa da una guía completa para el cálculo del volumen del ablandador, mientras que la empresa TESQUIMSA solo da directrices para este cálculo.

2.7 Norma utilizada para el desarrollo de la propuesta tecnológica

La norma que se utilizó en esta propuesta tecnológica es de suma importancia para su desarrollo, a continuación se hará mención de la siguiente norma:

- ABMA: Asociación de los fabricantes y proveedores de calderos y la voz de la industria del caldero de América.

CAPITULO III

3. ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL DEL CALDERO, MANTENIMIENTO DEL CALDERO Y SELECCIÓN DEL NUEVO ABLANDADOR

3.1 Metodología utilizada

Como se mencionó anteriormente la metodología que se utilizó se basa en el análisis químico del agua de la Empresa TESQUIMSA, el dimensionamiento de la Empresa VDE y nuestra propuesta de mantenimiento, siendo la siguiente:

3.1.1 *Análisis del estado inicial del caldero.* Al presentar la propuesta tecnológica es imprescindible empezar con un análisis inicial de caldero, por lo cual es necesario partir con un estudio de cada uno de los elementos que conforman el lado de agua del caldero, mediante una inspección visual, de esta forma se identifica en qué estado técnico y de funcionamiento se encuentra cada elemento del caldero, llegando a comprobar que existe la presencia de incrustación y corrosión en el equipo.

3.1.2 *Determinación de los problemas existentes en el caldero.* Con el conocimiento que el equipo ablandador cesó sus funciones durante un gran intervalo de tiempo y que el caldero funcionaba con el agua de alimentación que ingresaba de forma directa de la cisterna sin previo tratamiento alguno se pudo asumir que el caldero tenía grandes problemas de corrosión e incrustación, para cerciorarse de estos problemas en el lado de agua del equipo se procedió a la apertura de las tres tortugas que dispone el caldero, por medio de las cuales se realizó una inspección visual de los tubos, hogar y espejos, comprobando que los problemas existentes son la presencia de corrosión e incrustación en el lado de agua del caldero.

3.1.3 *Asesoramiento de la Empresa TESQUIMSA.* Una vez determinados los problemas existentes en el caldero se decidió recibir un asesoramiento por parte de la Empresa TESQUIMSA, para realizar un correcto seleccionamiento de químicos necesarios y así mitigar los problemas de incrustación y corrosión en los diferentes elementos, además para la selección de un equipo ablandador acorde a las necesidades y parámetros presentes en el caldero y con ello prevenir problemas futuros.

Para mayor información de la empresa ver el Anexo A.

3.1.4 *Mantenimiento del caldero.* Después de haber recibido la capacitación y teniendo en cuenta los químicos que se requieren, se procedió a dar un Mantenimiento Correctivo al caldero, el cual contó con la remoción y limpieza de las partes afectadas por incrustación y corrosión, para ello se utilizó TQ-SOFT-LAI que es un producto químico utilizado como desincrustante para la limpieza química en circuitos térmicos y calderos, también se utilizó D-OXI-Z40 que es un producto de carácter ácido que desengrasa, desoxida y fosfatiza en una sola operación, para piezas de hierro y acero, ambos productos se aplicaron disolviéndolos con agua ablandada y por medio de la bomba dosificadora se realizó el ingreso de la solución al caldero en forma alternada, con una frecuencia semanal durante cuatro meses.

Para mayor información de los productos utilizados ver el Anexo B.

3.1.5 *Análisis químico del agua.* Se realizó un análisis químico de dureza, TDS, PH y alcalinidad del agua para saber todos los valores que presenta y así determinar el tipo de agua a tratar, este análisis se lo desarrolló con la colaboración de la empresa TESQUIMSA, que está regida por la norma ABMA.

3.1.6 *Dimensionamiento del ablandador.* El tamaño del ablandador se calculó teniendo presente la capacidad del caldero que es de 15HP, la cantidad de dureza total, la cantidad de resina a utilizarse y con la aplicación de la metodología de la Empresa VDE.

3.1.7 *Selección del ablandador.* La selección del ablandador consistió en la comparación de los distintos ablandadores que nos ofrece el mercado, y de ellos se escogió el más adecuado tanto para el control de los parámetros del agua de importancia para nuestra propuesta tecnológica como para el presupuesto que se tiene establecido.

3.1.8 *Instalación del ablandador.* Una vez hecha la compra del ablandador se procedió a la instalación del mismo, desarrollando de esta manera el manual de instalación del ablandador, el cual consta con el detalle de todos los pasos realizados y

con sus respectivas fotografías para una mayor comprensión para el encargado del laboratorio de generación de vapor de la Facultad de Mecánica.

3.1.9 *Puesta en marcha del ablandador y verificación del correcto funcionamiento.*

La puesta en marcha del ablandador se llevó a cabo con la programación del mismo, donde se detalla cada paso realizado para la programación y de esta manera realizando un manual de programación del ablandador. Después se procedió con la verificación del correcto funcionamiento del ablandador con la realización del análisis químico del agua de alimentación del caldero, donde se pudo observar la variación de los parámetros a ser controlados.

3.1.10 *Realización del manual de mantenimiento del ablandador.* Por último se realizó el manual de mantenimiento para el ablandador, el cual contiene el detalle de todos los procedimientos de mantenimiento a realizarse en el ablandador, las frecuencias y los tiempos estimados para cada procedimiento. También se desarrolló los formatos de dossier de mantenimiento y orden de trabajo para el ablandador.

3.2 Análisis del estado inicial del caldero existente en la Escuela de Mantenimiento.

El análisis inicial del caldero se realizó mediante la inspección visual de los elementos que conforman el lado de agua que son:

3.2.1 *Estado inicial del hogar.* Para realizar la inspección del hogar primero se purgó el agua del caldero con la ayuda de las válvulas de desfogue rápido y de desfogue lento.

Figura 6. Válvulas de desfogue rápido y lento



Fuente: Autores

Después con la apertura de las tortugas se procedió a la inspección visual del hogar del caldero.

Figura 7. Apertura de tortugas



Fuente: Autores

A continuación se muestra el estado inicial del hogar:

Figura 8. Hogar con incrustación del caldero



Fuente: Autores

3.2.2 *Estado inicial de los tubos.* De igual manera se procedió con la inspección de los tubos en el lado de agua, de donde se obtiene el siguiente resultado:

Figura 9. Tubos con incrustación del caldero



Fuente: Autores

3.2.3 *Estado inicial de los espejos.* En la inspección de los espejos da el siguiente resultado:

Figura 10. Espejos con incrustación del caldero



Fuente: Autores

Estos resultados dan como conclusión de que el caldero se encuentra en un estado regular en el lado de agua, ya que se tiene presencia de corrosión e incrustaciones como se puede observar en las fotografías y este problema se debe al inadecuado tratamiento de agua de alimentación del caldero.

3.3 Capacitación recibida por TESQUIMSA

Antes de continuar con el trabajo se recibió una capacitación por parte de la empresa TESQUIMSA, para fortalecer el conocimiento y manejo de parámetros para la

selección, dimensionamiento del ablandador y asesoramiento para el mantenimiento del caldero.

Los temas que se trataron en la capacitación se detallan a continuación:

“TRATAMIENTO QUIMICO DE AGUA PARA CALDEROS”

- Introducción
- Definición
- Clasificación de los calderos
- El agua en la industria
- Caracterización del agua
- Tratamientos previos: ablandamiento
- El agua del caldero y sus problemas
- Tratamiento del agua para calderos
- Purificación del agua
- Prevención de corrosión
- Prevención de incrustación
- El vapor
- El arrastre
- El condensado
- Análisis físico químico de las aguas de calderos
- Apertura de calderos
- Limpieza química.
- Riesgos Físicos y Químicos

3.4 Mantenimiento del caldero

El mantenimiento del caldero se basa en la limpieza y remoción de incrustaciones y corrosión en el lado de agua, por lo tanto el mantenimiento se realizara a los espejos, tubos y hogar.

Se utilizó TQ-SOFT-LAI, que es un producto químico utilizado como desincrustante para la limpieza química en circuitos térmicos y calderos. Con el asesoramiento de la

Empresa se llegó a definir la utilización de este químico durante un periodo de cuatro meses y la cantidad de 60kg con el fin de lograr la remoción de incrustaciones presentes en el caldero.

Este producto desincrustante viene en polvo soluble por lo que se consideró disolver con agua ablandada en el tanque de tratamiento químico y mediante la bomba dosificadora ingresar esta solución al caldero para su tratamiento, con una frecuencia semanal y con un consumo de 10lb de desincrustante.

Figura 11. Tanque y bomba de tratamiento químico



Fuente: Autores

Cabe indicar que para este tratamiento el caldero debe estar en funcionamiento, ya que el desincrustante reacciona con el calor que se produce en el caldero y de esta manera cumple con su función de limpieza.

Después se utilizó D-OXI-Z40, que es un producto de carácter ácido que desengrasa, desoxida y fosfatiza en una sola operación, para piezas de hierro y acero.

De igual manera que el anterior producto al venir en polvo se procedió a disolver con agua ablandada en el tanque de tratamiento químico y enviar la solución al caldero por medio de la bomba dosificadora.

Este tratamiento también se realizó por un periodo de cuatro meses y con una cantidad de 60kg con el objetivo de eliminar toda la corrosión presente en el caldero, la frecuencia fue la misma que el tratamiento de desincrustación.

Figura 12. Tubos limpios del caldero



Fuente: Autores

Figura 13. Espejo limpio del caldero



Fuente: Autores

Figura 14. Hogar limpio del caldero



Fuente: Autores

3.5 Análisis químico del agua

El análisis químico del agua se lo realizó con el apoyo de la Empresa TESQUIMSA aplicando la norma ABMA (Asociación de los fabricantes y proveedores de calderos y la voz de la industria del caldero de América). Para realizar estas pruebas el caldero debe estar en encendido, para mayor información: del encendido del caldero revisar el Anexo C. De las pruebas realizadas al agua revisar el Anexo D.

Después de haber realizado cada una de las pruebas tanto para el agua del caldero como para el agua de alimentación se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 12. Resultado del agua del caldero

Dureza	140 ppm
TDS	500 ppm
PH	7,8
Hierro	7 ppm
Alcalinidad	40 ppm

Fuente: Autores

Tabla 13. Resultado del agua de alimentación

Dureza	450 ppm
TDS	700 ppm
PH	7,5
Alcalinidad	270 ppm

Fuente: Autores

Los resultados del análisis químico del agua expuestos anteriormente conllevan a la conclusión que el agua a tratar es dura y alta en iones de hierro, por lo cual se debe realizar un tratamiento adecuado al agua de alimentación para prevenir los problemas de corrosión e incrustación que anteriormente fueron tratados en el caldero.

3.6 Dimensionamiento del ablandador

Para seleccionar el volumen del ablandador se aplicó el siguiente procedimiento:

- *Determinación del caudal a tratar.* La capacidad del caldero es de 15 HP, esta capacidad se debe transformar a galones por hora.

$$\text{Galones/Hora} = \text{Capacidad} \times 4,14$$

$$\text{Galones/Hora} = 15\text{HP} \times 4,14$$

$$\text{Galones/Hora} = 62,1$$

Dónde:

4,14=Rata de evaporación del caldero

$$1 \text{ HP} = 34,5 \text{ libra/hora}$$

$$GPH = \frac{\left(\frac{34,5l}{h}\right)}{\left(\frac{8,33l}{gal}\right)}$$

$$GHP = 4,14$$

Como se ocupa 2 horas diarias el caldero tenemos:

$$62,1 \times 2 = 124,2 \text{ GPH}$$

- *Determinación de la dureza total.* La dureza del agua de alimentación del caldero es de 450 ppm, pero hay que convertir esta dureza a GPG (granos por galón).

$$GPG = \frac{\text{Dureza}}{17,1}$$

$$GPG = \frac{450 \text{ ppm}}{17,1}$$

$$GPG = 26,32$$

Para encontrar los GPG por día que hay que remover se aplicó el siguiente cálculo, teniendo que considerar un margen de error para el dimensionamiento del ablandador que varía en el rango del 5% al 15%, para la propuesta se tomó el 10%. Por lo cual tenemos:

$$GPG/\text{Día} = GPH \times GPG$$

$$GPG/\text{Día} = 124,2 \times 26,32$$

$$GPG/\text{Día} = 3268,94$$

$$3268,94 \times 1,10 = 3595,83 \text{ GPG}$$

- *Determinación del volumen del ablandador.* Para el cálculo del volumen se tiene que tener presente lo siguiente:

30 000 granos de resina por ft^3 se regenera con 15 libras de salmuera.

25 000 granos de resina por ft^3 se regenera con 10 libras de salmuera.

20 000 granos de resina por ft^3 se regenera con 5 libras de salmuera.

Y que en un saco de resina catiónica vienen 25 000 granos, se tiene lo siguiente:

$$\text{Volumen del Ablandador} = GPG \div 25\,000 \text{ granos de resina}/ft^3$$

$$\text{Volumen del Ablandador} = \frac{3\,595,83}{25\,000}$$

$$\text{Volumen del Ablandador} = 0,14 \text{ } ft^3$$

Considerando que en el mercado existen ablandadores desde $1ft^3$ y teniendo en cuenta que el resultado obtenido es menor a 1, el volumen del ablandador es de $1ft^3$.

3.7 Selección del ablandador adecuado

Para la selección del ablandador adecuado se debe tener en cuenta el volumen y el tipo de agua a tratar, siendo en este caso agua dura.

Se realizó una comparación de los distintos ablandadores que se encuentran en el mercado teniendo las siguientes propuestas:

Tabla 14. Tipos de ablandadores

Ítem	Marca	Procedencia	Tipo	Caudal máximo	Regeneración	Potencia	Precio	Imagen
1	KEMAN	CHINA	Ablandador de intercambio iónico	3.2 GPM	Por tiempo	50 W	2800	
2	YILI	CHINA	YL-WS-01 Ablandador de intercambio iónico	3 GPM	Por tiempo	50 W	3200	
3	AMANDA	EEUU	Ablandador de intercambio iónico	12GPM	Por volumen de agua ablandada	50 W	5500	
4	CX	EEUU	Ablandador de intercambio iónico	15 GPM	Por tiempo y Volumen de agua ablandada	100W	7000	
5	JISHUY	CHINA	Ablandador de intercambio iónico	10 GPM	Por volumen de agua ablandada	100W	5000	

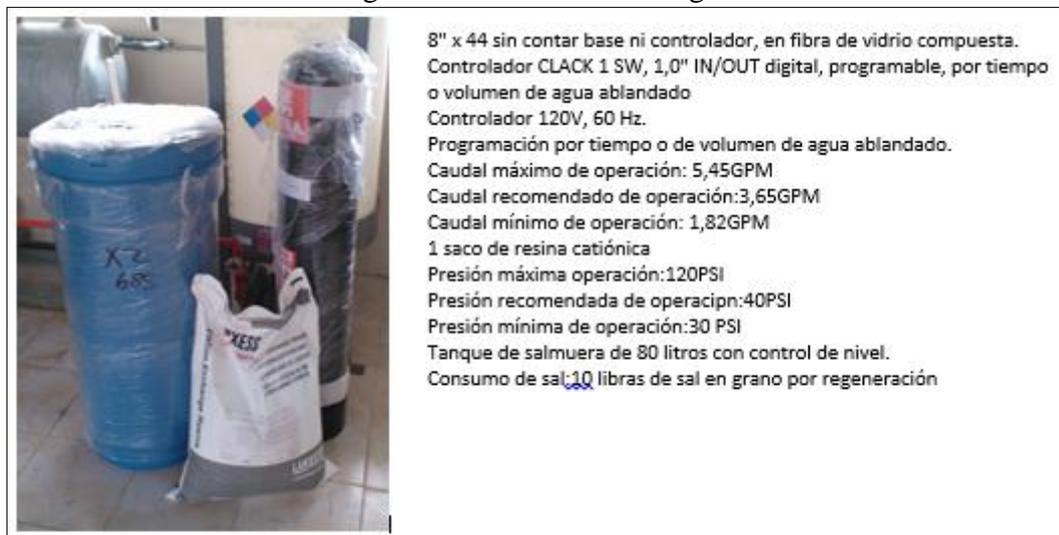
6	VULCANO	ARGENTINA	VA-025 Ablandador de intercambio iónico	4.4 GPM	Por tiempo y Volumen de agua ablandada	40 W	9836	
7	CLACK	ECUADOR	Ablandador de intercambio iónico	5.5 GPM	Por tiempo y Volumen de agua ablandada		1785	

Fuente: Autores

Se seleccionó el ablandador CLACK que se muestra en el ítem 7 porque no hay la necesidad de importación, el caudal máximo es adecuado para el caudal que se requiere, proporciona dos opciones de programación y su costo es económico en relación al resto de equipos cotizados. Con el contacto de la empresa TESQUIMSA la compra del y entrega del equipo se dió en 5 días laborables.

Este ablandador proporciona un control de todos los parámetros necesarios del agua del caldero, posee un cabezal digital, programable por tiempo o volumen de agua ablandada y funciona a 120V, 60Hz. El tanque de resina es de fibra de vidrio compuesta, el tanque de salmuera es de 80 litros y de construcción plástica.

Figura 15. Ablandador de agua



Fuente: TESQUIMSA

CAPITULO IV

4. INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO DEL NUEVO ABLANDADOR

4.1 Manual de instalación del ablandador

Se desarrolló el manual de instalación del ablandador para tener una guía del mantenimiento del mismo.

4.1.1 *Instalación de acoples del cabezal a la tubería.* Las dimensiones de los acoples del cabezal del ablandador vienen dadas en el sistema Inglés, mientras que las dimensiones de las uniones de la tubería se encuentran en el SI, por lo cual se realizó el siguiente trabajo:

Materiales:

- 2 Uniones macho uno a uno de 1pulg.
- Pegamento de tubería
- Lija N° 300
- Lija N° 1200
- Franela

Procedimiento:

- Lijar los acoples del cabezal hasta devastar 2mm con la lija N° 300 y luego con la lija N° 1200

Figura 16. Acoples del cabezal



Fuente: Autores

- Limpiar las superficies lijadas y las uniones macho con una franela húmeda y secar con un paño seco.

Figura 17. Uniones macho



Fuente: Autores

- Colocar el pegamento en los acoples y uniones.

Figura 18. Pegamento de tubería



Fuente: Autores

- Unir las piezas y sujetar por 5min.

Figura 19. Acoples unidos con uniones macho



Fuente: Autores

- Dejar secar el pegamento durante 2h.

4.1.2 *Instalación del cabezal en el tanque de resina*

Procedimiento:

- Colocar el filtro en el cabezal.

Figura 20. Filtro unido al cabezal



Fuente: Autores

- Conectar el tubo del tanque de resina por dentro del filtro al cabezal.

Figura 21. Conexión del cabezal al tubo del tanque de resina



Fuente: Autores

- Enroscar el cabezal al taque de resina.

Figura 22. Conexión del cabezal al tanque de resina



Fuente: Autores

4.1.3 *Instalación del tanque de salmuera al cabezal*

Materiales:

- 1 Taladro de Mano
- 1 Broca de 8mm.

Procedimiento:

- Perforar el tanque de salmuera con la ayuda del taladro y la broca a la altura de 40cm desde la base para la correcta conexión.

Figura 23. Tanque de salmuera



Fuente: Autores

- Conectar la manguera desde el tanque de salmuera al cabezal.

Figura 24. Ablandador instalado



Fuente: Autores

Nota. Retirar todos los seguros del cabezal cuando se instala y colocar nuevamente al final de la instalación.

4.2 Puesta en marcha del ablandador

Una vez instalado el ablandador se procedió a la puesta en marcha del mismo, que se realizó en base al volumen de agua ablandada que se calculó de la siguiente manera y aplicando un margen de error del 10%, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Galones Ablandados} = 25\ 000 \text{ Granos de resina/GPG (Dureza)}$$

$$\text{Galones Ablandados} = \frac{25\ 000}{26,32}$$

$$\text{Galones Ablandados} = 949,84$$

$$\text{Galones Ablandados} = 949,84 \times 0,10$$

$$\text{Galones Ablandados} = 94,98$$

$$\text{Galones Ablandados} = 949,84 - 94,98$$

$$\text{Galones Ablandados} = 854,86$$

Una vez que llega a este valor el cabezal ordena la regeneración de la resina que dura aproximadamente 1h 30min.

A continuación se detalla los pasos previos a la programación del cabezal.

- Colocar el quintal de resina en el tanque de resina.

Figura 25. Colocación de Resina



Fuente: Autores

- Colocar la salmuera en el tanque de salmuera, la cantidad recomendada es de 15 libras por parte de la empresa TESQUIMSA pero se colocó 20 libras de salmuera por seguridad de regeneración con 40 litros de agua, ya que el agua se pone al doble de la cantidad de salmuera.

Figura 26. Colocación de salmuera



Fuente: Autores

- Enchufar el cabezal del ablandador al toma corriente.

Figura 27. Enchufe del ablandador



Fuente: Autores

4.3 Programación del cabezal

Una vez calculado el volumen de agua a ablandar y realizados los pasos previos, se procedió a la programación del cabezal. A continuación se detalla paso a paso la programación.

- Presionar CLOCK para igualar el reloj del ablandador.

Figura 28. Igualación del reloj del ablandador



Fuente: Autores

- Mantener presionado UP+NEXT durante 2 segundos y colocar el número de días para que se realice la regeneración de la resina, el número de días se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Días} = \text{Galones Ablandados/GPM}$$

$$\text{Días} = \frac{949,84}{496,8}$$
$$\text{Días} = 1,91$$

Con este resultado se considera el inmediato superior obteniendo cada 2 días la regeneración.

Figura 29. Seteo de días para regeneración



Fuente: Autores

- Después se presiona NEXT y en la siguiente opción se coloca la hora para que se realice la regeneración, tomando en cuenta que el caldero funciona dos horas diarias y es en el intervalo de 14h00 a 22h00 se seteo a las 02h00 la regeneración.

Figura 30. Seteo de la Hora de regeneración



Fuente: Autores

- Luego se presiona NEXT y se coloca ON para encender la regeneración y terminar la programación parcial del cabezal.

Figura 31. Encendido de la regeneración



Fuente: Autores

- Una vez terminada la programación parcial del cabezal se continúa con la programación final. Se presiona NEXT+DOWN durante 5 segundos y se selecciona la manera de regeneración, es decir por volumen de agua ablandada o por tiempo, para la propuesta tecnológica se selecciona volumen de agua ablandada.

Figura 32. Selección del tipo de regeneración



Fuente: Autores

- Pulsar NEXT y colocar el tiempo en que se demora el retro lavado de la resina, el cual es de 8 minutos recomendado por la empresa TESQUIMSA. La función de

este retro lavado de resina consiste en el ingreso del agua por el tubo central del cabezal y su salida por la resina moviéndola y de esta manera descompactándola, eliminando la suciedad en el ablandador, evitando la pérdida de eficiencia del equipo al utilizar a todos los granos de resina para el proceso de ablandamiento.

Figura 33. Colocación del tiempo de retro lavado



Fuente: Autores

- Pulsar NEXT y colocar el tiempo que se demora en la regeneración de la resina, el cual es de 30 minutos recomendado por la empresa TESQUIMSA.

Figura 34. Colocación del tiempo de regeneración



Fuente: Autores

- Presionar NEXT y colocar el tiempo de enjuague que es 15 minutos recomendado por TESQUIMSA. Este enjuague tiene por función eliminar el exceso de salmuera del ablandador.

Figura 35. Colocación del tiempo de enjuague



Fuente: Autores

- Pulsar NEXT y colocar el tiempo de aclarado que es de 15 minutos recomendado por la empresa TESQUIMSA, la función del aclarado es permitir el paso del agua por la resina y la salida del agua ya ablandada por el tubo central del cabezal hacia el tanque de condensado, de esta manera dejando listo al equipo para su correcto funcionamiento.

Figura 36. Colocación del tiempo de aclarado



Fuente: Autores

- Presionar NEXT y colocar la cantidad de salmuera que se puso en el tanque de salmuera en el segundo paso previo a la programación.

Figura 37. Colocación de la cantidad de salmuera



Fuente: Autores

- Pulsar NEXT y colocar la cantidad de galones ablandados calculados en la puesta en marcha del ablandador.

Figura 38. Colocación del galonaje



Fuente: Autores

Todos los pasos anteriormente descritos son necesarios para la correcta programación del cabezal y por ende para el correcto funcionamiento del ablandador, bajo ninguna circunstancia se debe omitir alguno de los pasos mencionados ya que conllevaría al incorrecto funcionamiento del ablandador.

Nota. El display del cabezal cuando esta de color azul significa que se encuentra en un periodo de programación, cuando es de color naranja está en periodo de funcionamiento y cuando se encuentra en color rojo nos indica error.

4.3.1 Verificación del correcto funcionamiento. Después de haber realizado la instalación, puesta en marcha y programación el ablandador, se verifica el correcto funcionamiento comprobando los parámetros analizados antes y después de la instalación del ablandador.

Tabla 15. Resultado actual del agua del caldero

	Antes	Después
Dureza	140 ppm	2 ppm
TDS	500 ppm	30 ppm
PH	7,8	9
Hierro	7 ppm	2 ppm
Alcalinidad	40 ppm	10 ppm

Fuente: Autores

Tabla 16. Resultado actual del agua de alimentación

	Antes	Después
Dureza	450 ppm	4 ppm
TDS	700 ppm	50 ppm
PH	7,5	8,8
Alcalinidad	270 ppm	30 ppm

Fuente: Autores

Como se puede observar en las tablas 15 y 16, los parámetros del agua se han reducido notablemente, tanto en el agua de alimentación como en el agua del caldero. Por lo tanto se llega a la conclusión de que el ablandador instalado funciona de forma correcta.

4.4 Manual de mantenimiento del ablandador

El manual nos ayuda con los procedimientos necesarios para el correcto funcionamiento del ablandador, evitando de esta manera pérdidas costosas por reparaciones inesperadas. Además con el desarrollo del manual se puede asegurar la disponibilidad del laboratorio en el momento que éste se requiera.

El manual de mantenimiento se inició por la codificación del ablandador, para posteriormente realizar un análisis de criticidad y AMEF, determinando de esta manera que el ablandador es un equipo no crítico y tiene un riesgo de falla bajo, después se desarrolló la toma de decisiones utilizando el diagrama de tareas del RCM para el mantenimiento del ablandador, siendo estas acciones preventivas, técnicamente factibles

y sostenibles.

Para finalizar se desarrollaron los procedimientos de mantenimientos con sus respectivas fichas técnicas, el plan maestro de mantenimiento, el formato del dossier de mantenimiento y el formato de orden de trabajo.

Para mayor información del manual de mantenimiento revisar el Anexo E.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se realizó satisfactoriamente el análisis inicial del caldero, determinando sus problemas y dando solución a los mismos con el mantenimiento del lado de agua del caldero.

Se recorrió a la empresa TESQUIMSA para recibir una capacitación sobre tratamiento químico de agua para calderos La misma que ayudo para poder realizar nuestra propuesta tecnológica.

Se realizó la selección del ablandador adecuado para el caldero de la Facultad de Mecánica considerando los parámetros más importantes en el tratamiento de agua y con la aplicación de la metodología de la empresa VDE para el dimensionamiento del mismo.

Se desarrolló el manual de instalación del ablandador que ayudará con las tareas de mantenimiento.

Con la puesta en marcha del ablandador se logró tratar eficazmente el agua del caldero y de esta manera poder evitar incrustaciones, corrosión y futuros problemas que podría presentar el caldero.

Aplicando el análisis de criticidad y AMEF se realizó el plan de mantenimiento para cada parte del ablandador, con sus respectivos procedimientos de mantenimiento.

5.2 Recomendaciones

Analizar todos los parámetros que podrían influir en el estado inicial de activos, ya que omitir alguno de estos parámetros conllevará a resultados equivocados y afectará a la toma de decisiones.

Realizar cada procedimiento de instalación del ablandador en forma cuidadosa para evitar daños a los elementos de instalación, utilizar EPP respectivo y no omitir ningún paso ya que podría llevar al mal funcionamiento del ablandador.

Realizar todos los procedimientos de mantenimiento tal cual como se los indica ya que de esta manera se asegurara el correcto funcionamiento del ablandador.

El personal encargado de mantenimiento deberá llevar correctamente todos los procedimientos de mantenimiento tal como indica el manual, el dossier del ablandador y ordenes de trabajo para de esta manera asegurar el correcto funcionamiento del ablandador.

Evitar que el agua de alimentación del caldero contenga cloro y utilizar sal en grano o salmuera lavada con ausencia de yodo.

BIBLIOGRAFÍA

KOHAN, A. L. 2000. Manual de calderas. España: Mc GRAW-HILL, 2000.

MANTENIMIENTO PLANIFICADO. Mantenimiento planificado. [En línea] 12 de 02 de 2010. [Citado el: 12 de 12 de 2014.]. Disponible en internet: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/ariel%20ZYLBERBERG/RCM_Scorecard_overview.pdf].

MOUBRAY, John. 1996. Reliability centered maintenance. New York: Industria press Inc., 1996.

SELMEC. 1976. Manual de calderas Cleaver Brooks. México: IMPREDIT SA., 1976.

SEXTO, Luis Felipe. 2014. Mantenimiento centrado en la confiabilidad-apuntes y reflexiones. Lissone (MB). Italia: Radical Management.

ABARCA BAHAMONDES, Pedro. Descripción de calderas y generadores de vapor. [En línea] 10 de 05 de 2012. Disponible en internet: [http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor.pdf].

CID, Jaime Santiago. Guía básica de calderas industriales eficientes. [En línea] 10 de 05 de 2012. Madrid. España: Gráficas Arias Montano, S. A. Disponible en internet: [http://www.caatlleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7735.pdf].

SPIRAX SARCO, S.A.U. Guía básica de calderas industriales eficientes. [En línea] 10 de 05 de 2012. Madrid. España: Gráficas Arias Montano, S. A. Disponible en internet: [http://www.caatlleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7735.pdf].

OELKER BEHN, Arnulfo. Tratamiento de agua para calderas. [En línea] 20 de 06 de 2010. Santiago. CHILE. Disponible en internet: [http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf].

YANEZ, Enrique. Tratamiento de aguas en calderas de vapor. [En línea] 03 de 11 de 2011. Ecuador. Disponible en internet: [https://williamteneda.wikispaces.com/file/view/LAS+AGUA+DE+CALDERO+Y+SUS+PROBLEMAS.pdf]