



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADA EN LA ESPOCH PARA  
USO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:**

**DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR**

Riobamba-Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADA EN LA ESPOCH PARA  
USO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR

**DIRECTOR:** Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS. Mgs.

Riobamba-Ecuador

2022

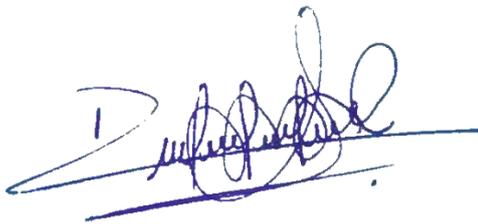
© 2022, **Diana Carolina Cabrera Aguilar**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Diana Carolina Cabrera Aguilar declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de diciembre de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diana Carolina Cabrera Aguilar', written over a horizontal line.

**Diana Carolina Cabrera Aguilar**

**C.I. 070563542-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADA EN LA ESPOCH PARA USO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES**, realizado por la señorita: **DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa, Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-12
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-12-12
Ing. Gabriela Viviana Tubon Usca, PhD. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-12-12

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de titulación primeramente a Dios por ser mi guía y darme la luz en los momentos difíciles de mi vida, por haberme dado la existencia y por permitirme vencer cada obstáculo para cumplir mi sueño. A mi madre Fanny que es el pilar fundamental en mi vida, y a mi padre Enrique que es mi angelito cuidándome siempre desde el cielo, dedicado para ti papá, porque ellos creyeron en mí, enseñándome que con dedicación y esfuerzo puedo llegar alcanzar mi meta, instruyéndome grandes valores que han hecho de mí una mujer de bien. A mis hermanos Martha, Henry, Oswaldo y Gianella, que siempre me apoyaron dándome su amor y comprensión para continuar trabajando y cumpliendo cada uno de mis objetivos. A mis sobrinos Patricio, Mayerly, Fiorella y Adriel que cada día me brindan alegría y ánimos para crecer emocional y profesionalmente permitiéndome ser un ejemplo para ellos. A mis amigos que con sus consejos hicieron que esta etapa universitaria sea una experiencia bonita e inolvidable.

*Diana*

## **AGRADECIMIENTO**

A, Dios por brindarme salud y sabiduría para enfrentar y alcanzar este gran sueño. A mi familia por ser el apoyo incondicional, por creer en mis capacidades, por darme lo mejor de cada uno de ustedes, por demostrarme que los sueños se cumplen y por nunca dudar de mi potencial.

Estoy muy agradecida con mi director de tesis, Ing. Marco Chuiza y a mi asesora Ing. Gabriela Tubon ya que gracias a su apoyo, conocimiento, consejo y dedicación supieron guiarme y hacer posible la culminación de mi trabajo de titulación. Así también agradezco a la Dra. Gina Álvarez y a la Ing. Carla Haro que gracias a su colaboración en el laboratorio de calidad de agua y de procesos industriales de la facultad de ciencias pude obtener los resultados de los análisis y la ejecución de mi tesis.

Mi eterno agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, por abrirme las puertas a conocer a grandes docentes y técnicos de laboratorio de la carrera que me brindaron sus conocimientos y experiencias forjando en mí una gran profesional que estará dispuesta a servir a la sociedad.

*Diana*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICES DE ILUSTRACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes .....	2
1.2.	Planteamiento del problema.....	2
1.3.	Justificación .....	3
1.4.	Objetivos .....	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	5
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	5
2.2.	Referencias teóricas .....	6
2.2.1.	<i>Localización</i> .....	6
2.2.2.	<i>Agua para calderas</i> .....	7
2.2.3.	<i>Condiciones de uso del agua en la caldera</i> .....	7
2.2.4.	<i>Calidad del agua</i> .....	7
2.2.5.	<i>Factores que intervienen en la calidad del agua</i> .....	8
2.2.5.1.	<i>Turbiedad</i> .....	8
2.2.5.2.	<i>Color</i> .....	8
2.2.5.3.	<i>Potencial de hidrogeno (pH)</i> .....	8
2.2.5.4.	<i>Sólidos totales disueltos</i> .....	9
2.2.5.5.	<i>Sólidos en suspensión</i> .....	9

2.2.5.6.	<i>Alcalinidad</i> .....	9
2.2.5.7.	<i>Dureza total</i> .....	10
2.2.5.8.	<i>Aceites y grasas</i> .....	11
2.2.5.9.	<i>Sílice</i> .....	11
2.2.5.10.	<i>Hierro</i> .....	11
2.2.5.11.	<i>Índice de estabilidad del agua</i> .....	11
2.2.6.	<b><i>Agua Subterránea</i></b> .....	12
2.2.7.	<b><i>Tipos de aguas Subterráneas</i></b> .....	13
2.2.7.1.	<i>Aguas suspendidas</i> .....	13
2.2.7.2.	<i>Aguas freáticas</i> .....	13
2.2.7.3.	<i>Aguas artesianas</i> .....	13
2.2.7.4.	<i>Aguas confinadas</i> .....	13
2.2.8.	<b><i>Impurezas del agua</i></b> .....	14
2.2.9.	<b><i>Consecuencia de las impurezas contenidas en el agua</i></b> .....	14
2.3.	<b>Caldera</b> .....	15
2.3.1.	<b><i>Partes de una caldera</i></b> .....	16
2.4.	<b>Tipos de Calderas</b> .....	16
2.4.1.	<b><i>Calderas Piro-tubulares o de tubos de humo</i></b> .....	16
2.4.2.	<b><i>Calderas Acuotubulares</i></b> .....	17
2.5.	<b>Impurezas del agua en una caldera</b> .....	18
2.6.	<b>Problemas de las impurezas en equipos industriales</b> .....	19
2.6.1.	<b><i>Incrustación</i></b> .....	19
2.6.1.1.	<b><i>Prevención de la formación de incrustaciones</i></b> .....	20
2.6.2.	<b><i>Corrosión</i></b> .....	20
2.6.2.1.	<b><i>Los factores que causan la corrosión son:</i></b> .....	21
2.6.3.	<b><i>Tipos de Corrosión</i></b> .....	21
2.6.3.1.	<b><i>Corrosión General</i></b> .....	21
2.6.3.2.	<b><i>Corrosión por Oxígeno o Pitting</i></b> .....	21
2.6.3.3.	<b><i>Corrosión Cáustica</i></b> .....	21
2.6.3.4.	<b><i>Corrosión por anhídrido carbónico</i></b> .....	22
2.6.4.	<b><i>Espumeo</i></b> .....	22
2.6.4.1.	<b><i>Condiciones para reducir o eliminar el espumeo</i></b> .....	22
2.6.5.	<b><i>Arrastre</i></b> .....	23
2.6.5.1.	<b><i>Prevención del arrastre</i></b> .....	23
2.7.	<b>Tratamientos de agua para caldera</b> .....	23
2.7.1.	<b><i>Tratamientos físicos</i></b> .....	25
2.7.1.1.	<b><i>Filtración</i></b> .....	25

2.7.1.2.	<i>Clasificación de los filtros</i> .....	25
2.7.1.3.	<i>Filtro de hilo</i> .....	26
2.7.1.4.	<i>Desgasificación</i> .....	27
2.7.2.	<i>Tratamiento externo e interno</i> .....	27
2.7.3.	<i>Ablandamiento químico del agua</i> .....	28
2.7.4.	<i>Ablandador de agua.</i> .....	30
2.7.5.	<i>Intercambio Iónico</i> .....	30
2.7.5.1.	<i>Componentes que afectan el intercambio iónico</i> .....	31
2.7.6.	<i>Etapas del proceso de intercambio iónico en la columna</i> .....	32
2.7.6.1.	<i>Empaquetamiento de la columna</i> .....	32
2.7.6.2.	<i>Acondicionamiento del intercambiador</i> .....	32
2.7.6.3.	<i>Etapa de carga</i> .....	32
2.7.6.4.	<i>Etapa de regeneración</i> .....	33
2.7.7.	<i>Resinas de Intercambio Iónico</i> .....	35
2.7.7.1.	<i>Tipos de Resinas de Intercambio Iónico</i> .....	35
2.8.	<i>Serie de actividad de los metales</i> .....	37

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	38
3.1.	<b>Tipo de trabajo</b> .....	38
3.2.	<b>Metodología</b> .....	38
3.3.	<b>Recolección y toma de muestras</b> .....	38
3.4.	<b>Tratamiento de las muestras</b> .....	39
3.5.	<b>Métodos y técnicas</b> .....	39
3.5.1.	<i>Métodos</i> .....	39
3.5.2.	<i>Técnicas para los análisis físicos</i> .....	39
3.5.2.1.	<i>Potencial de hidrogeno (pH)</i> .....	39
3.5.2.2.	<i>Temperatura</i> .....	40
3.5.2.3.	<i>Turbidez</i> .....	40
3.5.2.4.	<i>Sólidos disueltos totales</i> .....	40
3.5.2.5.	<i>Conductividad.</i> .....	40
3.5.2.6.	<i>Índice de estabilidad.</i> .....	40
3.5.3.	<i>Técnica para los análisis químicos</i> .....	41
3.5.3.1.	<i>Dureza</i> .....	41
3.5.3.2.	<i>Calcio</i> .....	43
3.5.3.3.	<i>Alcalinidad.</i> .....	45

3.5.3.4.	<i>Oxígeno disuelto</i> .....	45
3.5.3.5.	<i>Sílice</i> .....	47
3.5.3.6.	<i>Hierro</i> .....	47
3.7.	<b>Cálculos y dimensionamiento</b> .....	49
3.7.1.	<b>Cálculos experimentales del agua</b> .....	49
3.7.1.1.	<i>Determinación de índice de estabilidad del agua</i> .....	49
3.7.1.2.	<i>Determinación de la dureza</i> .....	50
3.7.1.3.	<i>Determinación de la dureza inicial del agua en granos por galón (gpg)</i> .....	51
3.7.1.4.	<i>Determinación de la alimentación de agua máxima a la caldera</i> .....	52
3.7.1.5.	<i>Determinación de los granos de dureza totales a remover por día</i> .....	53
3.7.2.	<b>Análisis de las propiedades de la resina.</b> .....	53
3.7.2.1.	<i>Cálculo del peso específico (s)</i> .....	53
3.7.2.2.	<i>Cálculo de la densidad real de la resina (<math>\rho_r</math>)</i> .....	54
3.7.2.3.	<i>Cálculo del porcentaje de la porosidad (%<math>\epsilon</math>)</i> .....	55
3.7.2.4.	<i>Volumen de la resina catiónica requerida (<math>V_r</math>)</i> .....	55
3.8.	<b>Diseño del ablandador del agua para el tratamiento</b> .....	56
3.8.1.	<b>Cálculo para la columna de intercambio iónico para el laboratorio de procesos.</b> 56	
3.8.1.1.	<i>Determinación del área del ablandador (<math>A_c</math>)</i> .....	56
3.8.1.2.	<i>Cálculo de la altura del lecho (<math>h_L</math>)</i> .....	56
3.8.1.3.	<i>Cálculo del porcentaje de expansión máxima del ablandador</i> .....	57
3.8.1.4.	<i>Cálculo de la altura del lecho hinchado</i> .....	57
3.8.1.5.	<i>Cálculo de la fracción de lecho utilizado</i> .....	57
3.8.1.6.	<i>Longitud del ablandador no utilizado (<math>h_o</math>)</i> .....	58
3.8.1.7.	<i>Cámara de expansión (freeboard)</i> .....	58
3.8.1.8.	<i>Altura de la columna cilíndrica (<math>h_c</math>)</i> .....	59
3.8.1.9.	<i>Capacidad promedio para la regeneración</i> .....	59
3.8.2.	<b>Regeneración de la resina</b> .....	60
3.8.2.1.	<i>Volumen de regeneración de la resina catiónica</i> .....	60
3.8.2.2.	<i>Flujo de salmuera</i> .....	61
3.8.2.3.	<i>Tiempo de regeneración de la resina</i> .....	61
3.8.2.4.	<i>Cálculo de la eficiencia del ablandador</i> .....	62

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN</b> .....	63
4.1.	<b>Resultados</b> .....	63
4.1.1.	<b>Resultados de análisis del agua antes de tener un tratamiento de ablandamiento</b> 63	

4.1.2.	<i>Resultados de los análisis del agua después del tratamiento utilizando resina catiónica</i> .....	63
4.2.	Resultados obtenidos para el diseño del sistema de ablandamiento.....	64
4.3.	Costos de la implementación del sistema de tratamiento de agua .....	66
4.4.	Análisis y discusión de resultados .....	69
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	70
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	71
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Características Geográficas del laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. ....	6
<b>Tabla 2-2:</b>	Indicadores de la calidad del agua. ....	7
<b>Tabla 3-2:</b>	Tabla para calcular la alcalinidad de los tres iones como carbonatos de calcio. ....	9
<b>Tabla 4-2:</b>	Clasificación de la dureza del agua en ppm de CaCO <sub>3</sub> . ....	10
<b>Tabla 5-2:</b>	Parámetros y contaminantes habituales del agua. ....	14
<b>Tabla 6-2:</b>	Efectos de las Impurezas en el agua de caldera. ....	18
<b>Tabla 7-2:</b>	Compuestos químicos formadores de los diferentes tipos de incrustaciones. ....	19
<b>Tabla 8-2:</b>	Parámetros a considerarse para evitar el arrastre. ....	23
<b>Tabla 9-2:</b>	Valores recomendados de calidad de agua en el uso de calderas pirotubulares. ...	24
<b>Tabla 1-3:</b>	Técnica para determinar la dureza del agua. ....	42
<b>Tabla 2-3:</b>	Técnica para la determinación de la concentración de calcio en el agua. ....	44
<b>Tabla 3-3:</b>	Técnica para la medición del cálculo de la alcalinidad del agua. ....	45
<b>Tabla 4-3:</b>	Técnica para la medición del oxígeno presente en el agua. ....	46
<b>Tabla 5-3:</b>	Técnica para la medición de sílice presente en el agua. ....	47
<b>Tabla 6-3:</b>	Técnica para la medición del hierro presente en el agua. ....	48
<b>Tabla 7-3:</b>	Datos de la caracterización fisicoquímica inicial del agua de pozo. ....	48
<b>Tabla 8-3:</b>	Cálculos para la capacidad y eliminación de la dureza por día. ....	53
<b>Tabla 9-3:</b>	Cantidad de sal y capacidad de la resina para ser regenerada en el equipo de ablandamiento. ....	59
<b>Tabla 1-4:</b>	Resultados de los parámetros fisicoquímicos de la caracterización inicial del agua de pozo. ....	63
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados fisicoquímicos del agua después del ablandamiento. ....	64
<b>Tabla 3-4:</b>	Resultados de la columna de ablandamiento con la resina. ....	64
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados para la regeneración de la resina. ....	65
<b>Tabla 5-4:</b>	Volumen de los equipos utilizados en el sistema de tratamiento de agua. ....	65
<b>Tabla 6-4:</b>	Presupuesto en la instalación del sistema de tratamiento de agua para el laboratorio de procesos industriales. ....	67

## ÍNDICES DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Localización de la Facultad de Ciencias y sus laboratorios.....	6
<b>Ilustración 2-2:</b>	Esquema de una caldera pirotubular horizontal.....	16
<b>Ilustración 3-2:</b>	Esquema de una caldera acuotubular.....	17
<b>Ilustración 4-2:</b>	Presencia de incrustaciones en tubos de humo de una caldera pirotubular...	20
<b>Ilustración 5-2:</b>	Filtro vertical de presión.....	26
<b>Ilustración 6-2:</b>	Filtro horizontal de presión.....	26
<b>Ilustración 7-2:</b>	Filtro de hilo de 20 micras para agua.....	27
<b>Ilustración 8-2:</b>	Esquematación del equipo de ablandamiento químico para el tratamiento de agua.....	29
<b>Ilustración 9-2:</b>	Esquema de un equipo de ablandamiento por intercambio iónico.....	31
<b>Ilustración 10-2:</b>	Ciclo de regeneración de la resina.....	33
<b>Ilustración 11-2:</b>	Esferas de resina para el ablandamiento químico.....	35
<b>Ilustración 12-2:</b>	Tabla de la serie de los metales ordenados de mayor a menor reactividad...	37
<b>Ilustración 1-3:</b>	Procedimiento para determinar la dureza del agua.....	43
<b>Ilustración 1-4:</b>	Diseño del sistema de tratamiento del agua.....	66

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3:</b>	Índice de Langelier .....	49
<b>Ecuación 2-3:</b>	Fórmula del pH de saturación.....	49
<b>Ecuación 3-3:</b>	Cálculo de la dureza total. ....	50
<b>Ecuación 4-3:</b>	Fórmula del peso específico (s). ....	53
<b>Ecuación 5-3:</b>	Fórmula de la densidad real de la resina.....	54
<b>Ecuación 6-3:</b>	Fórmula del porcentaje de la porosidad.....	55
<b>Ecuación 7-3:</b>	Fórmula del volumen requerido de la resina catiónica. ....	55
<b>Ecuación 8-3:</b>	Fórmula del área del ablandador (Ac) .....	56
<b>Ecuación 9-3:</b>	Fórmula de la altura del lecho (hL) .....	56
<b>Ecuación 10-3:</b>	Fórmula del porcentaje de expansión máxima del ablandador.....	57
<b>Ecuación 11-3:</b>	Fórmula de la altura del lecho hinchado.....	57
<b>Ecuación 12-3:</b>	Fórmula de la fracción de lecho utilizado.....	57
<b>Ecuación 13-3:</b>	Fórmula de la longitud del ablandador no utilizado (ho).....	58
<b>Ecuación 14-3:</b>	Fórmula del porcentaje de expansión. ....	58
<b>Ecuación 15-3:</b>	Fórmula de la cámara de expansión (freeboard).....	59
<b>Ecuación 16-3:</b>	Fórmula de la altura de la columna cilíndrica (hc). ....	59
<b>Ecuación 17-3:</b>	Fórmula del volumen de regeneración de la resina catiónica.....	60
<b>Ecuación 18-3:</b>	Fórmula del flujo de salmuera.....	61
<b>Ecuación 19-3:</b>	Tiempo de regeneración de la resina. ....	62

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** FICHA TÉCNICA DE LA RESINA EMPLEADA PARA EL SISTEMA DEL TRATAMIENTO.
- ANEXO B:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO ANTES DE ABLANDAR CON RESINA CATIONICA.
- ANEXO C:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DESPUÉS DE ABLANDAR CON RESINA CATIONICA.
- ANEXO D:** NORMA BRITÁNICA BS 2486:1997. REQUERIMIENTOS PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA A VAPOR.
- ANEXO E:** LÍMITES DE IMPUREZAS RECOMENDADOS POR ASME, PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN Y EL AGUA DE CALDERAS.
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN DE AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO POR MEDIO DE ABLANDAMIENTO.
- ANEXO G:** SIMULACIÓN DE UN ABLANDADOR A NIVEL DE LABORATORIO PARA REALIZAR PRUEBAS CON LA RESINA.
- ANEXO H:** DIMENSIONAMIENTO DE LAS BASES DE SOPORTE DEL LABORATORIO DE PROCESOS.
- ANEXO I:** DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO.
- ANEXO J:** IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA PARA USO DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO.

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

<b>ppm:</b>	Partículas por millón
<b>NTUs:</b>	Unidades Nefelométricas Turbidez
<b>mg/L:</b>	Miligramo sobre litro
<b>cm<sup>2</sup>:</b>	Centímetro cuadrado
<b>Gal:</b>	Galón
<b>gpg:</b>	Granos por galón
<b>g:</b>	Gramo
<b>h:</b>	Hora
<b>Kg/cm<sup>2</sup>:</b>	Kilogramos por centímetro cuadrado
<b>Kg/m<sup>3</sup>:</b>	Kilogramos por metro cúbico
<b>Kg:</b>	Kilogramo
<b>L:</b>	Litro
<b>m:</b>	Metro
<b>ml:</b>	Mililitros
<b>Min:</b>	Minutos
<b>Mg:</b>	Miligramos
<b>pHs:</b>	Potencial hidrogeno de saturación
<b>pH:</b>	Potencial de hidrogeno
<b>DVB:</b>	Divinilbenceno
<b>EDTA:</b>	Ácido etilendiaminotetraacético
<b>RCF:</b>	Resina catiónica de ácido fuerte
<b>RCD:</b>	Resina catiónica de ácido débil
<b>RAF:</b>	Resina aniónica de base fuerte
<b>RAD:</b>	Resina aniónica de base débil
<b>HP:</b>	Caballo de potencia
<b>ASME:</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
<b>I<sub>L</sub>:</b>	Índice de Langelier
<b>STD:</b>	Sólidos totales disueltos
<b>M:</b>	Molaridad

## RESUMEN

Se diseñó y construyó el sistema de tratamiento de agua para uso de los equipos del laboratorio de procesos industriales con el fin de prevenir la corrosión de la caldera y demás equipos existentes en el mismo. En primer lugar, se realizó la caracterización del agua de pozo teniendo como resultado más importante su dureza, siendo esta de 650 ppm, en base a esto se realizó las pruebas de tratabilidad permitiendo eliminar la dureza de la misma. Los resultados de estas pruebas indican que se debe emplear un equipo de ablandamiento que usa resina de intercambio catiónica de ácido fuerte. El sistema de tratamiento de agua consta de un tanque de almacenamiento del agua cruda de 1100 L, un filtro de hilo para los sólidos suspendidos, el tanque de salmuera y la columna de ablandamiento de 2 ft<sup>3</sup>, dos tanques uno de almacenamiento de agua blanda de 780 L y el otro de distribución de 780 L finalmente la distribución a los equipos se lo hará mediante una bomba de 0.5 hp. El agua de pozo al ser tratada con una resina de intercambio catiónica de ácido fuerte eliminó en su totalidad su dureza. Se recomienda realizar pruebas de contenido de oxígeno disuelto al agua a tratar y de estar este valor fuera de los límites recomendados, se considera emplear un secuestrante de oxígeno para así evitar que este no afecte a la vida útil de los equipos del laboratorio.

**Palabras clave:** <ABLANDAMIENTO> <RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO>, <CORROSIÓN>, <INCRUSTACIÓN>, <SISTEMA DE TRATAMIENTO>, <DUREZA>.

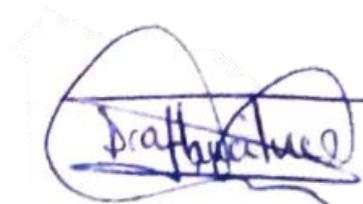


15-12-2022  
2403-DBRA-UPT-2022

## ABSTRACT

A water treatment system was designed and built for the industrial process laboratory equipment to prevent corrosion of the boiler and other equipment in the laboratory. Firstly, the characterization of the well water was carried out, with the most important result being its hardness, which was 650 ppm, based on which the treatability tests were carried out, allowing the hardness to be eliminated. The results of these tests indicate that softening equipment using strong acid cation exchange resin should be used. The water treatment system consists of an 1100 L raw water storage tank, an 1100 L raw water storage tank, a wire filter for suspended solids, a brine tank and a 2 ft<sup>3</sup> softening column, two 780 L soft water storage tanks and a 780 L distribution tank. Finally, distribution to the equipment will be done by means of a 0.5 hp pump. When the well water was treated with a strong acid cation exchange resin, its hardness was eliminated. It is recommended to test the dissolved oxygen content of the water to be treated and if this value is outside the recommended limits, an oxygen scavenger should be used to prevent it from affecting the useful life of the laboratory equipment.

**Key words:** <WASHING> <ION EXCHANGE RESIN>, <CORROSION>, <INCRUSTATION>, <TREATMENT SYSTEM>, <HARDNESS>.



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata Mgs.  
C.I:0602926719

## INTRODUCCIÓN

El proceso de ablandamiento de agua es importante en el sector industrial, para combatir el problema de corrosión e incrustación provocada en los equipos por el uso de agua dura. Al utilizar la resina catiónica esta ayuda a eliminar su alta dureza, por lo cual este procedimiento realiza el intercambio de los iones de calcio y magnesio que son los que dan la dureza al agua, por los iones de sodio que tiene la resina, facilitando así que la dureza sea reducida en su totalidad.

Existen diferentes tipos de resinas a emplearse en el ablandamiento, dependiendo del tipo de agua con la que se esté trabajando siendo esta la principal razón de funcionamiento de una columna de intercambio iónico la cual permite que ingrese el agua por la parte superior de la misma pasando por el lecho de resina en donde se eliminan los iones que produce la dureza, es importante mencionar que cuando la resina sea agotada esta pasa por un proceso de regeneración devolviéndole así los iones sodio para una nueva operación de intercambio. Al no existir un tratamiento como tal del agua para la utilización de los equipos, esta provoca un deterioro en el material lo que conlleva a consecuencias graves como es daños en las tuberías, corrosión e incrustaciones en los equipos, constante mantenimiento que incluye gastos y una baja eficiencia de la máquina.

El presente trabajo de titulación se enfoca primordialmente en diseñar y construir un sistema de tratamiento de agua, para la utilización de los equipos del laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias con el fin de eliminar la dureza y adaptar a la misma en los límites permisibles de la norma para la alimentación a la caldera previniendo así la corrosión en los equipos, lo que mejora su eficiencia, capacidad de trabajo y asegurar una larga vida útil. Para ello se comenzó con un diagnóstico inicial de los equipos y tuberías seguido de una caracterización fisicoquímica del agua de pozo que actualmente se utiliza en el laboratorio. Seguidamente se realizaron diferentes pruebas de tratabilidad para disminuir la dureza del agua empleando las resinas catiónicas. Finalmente se efectuaron los cálculos de ingeniería para dimensionar los equipos que constarán en el sistema de tratamiento.

El agua tratada proveniente del pozo que alimenta al laboratorio no solamente será utilizada para la caldera, sino que se empleará también para los equipos como son: sistemas de enfriamiento, chaquetas y la línea de cerveza que se encuentra en el laboratorio.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

En el transcurso del desarrollo de equipos como los calderos, sistema de enfriamiento y chaquetas el tratamiento de agua no era considerado un inconveniente muy grave, debido a que las presiones y temperaturas eran muy bajas por ende no constituían incrustaciones y corrosión en una cantidad significativa, años atrás era muy común ubicar placas de zinc o químicos alcalinos para reducir la corrosión dentro de los equipos (Ortiz & Tavera, 2013, pp. 10-11). En 1900 se menciona la utilización de un compuesto químico llamado cal que sirve como control de la alcalinidad, siendo usada hasta 1935 por la armada británica y francesa (Shun et al., 2008, p. 4). En la actualidad para las calderas, el tratamiento de agua de alimentación es crítico, debido a que existe una variedad de problemas, los cuales provienen del uso de agua sin un previo tratamiento a presión y temperatura externas (Ortiz & Tavera, 2013, p. 12). Es decir que no solo provoca la corrosión e incrustación, sino que incluye una menor eficiencia del equipo, sobrecalentamiento, daños y limpieza costosa (Shun et al., 2008, p. 4).

Dentro del Laboratorio de Procesos Industriales, de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, existen diversos equipos que son utilizados para las distintas prácticas y así mismo en la elaboración de productos. Al ser un laboratorio grande necesita que el agua de alimentación que ingresa a sus equipos como caldera, sistema de enfriamiento y chaquetas sea tratada para evitar incrustaciones y corrosión a los mismos.

Este tratamiento sirve para controlar los parámetros como dureza y alcalinidad, previniendo así la creación de incrustaciones, corrigiendo y controlando el pH y conductividad respectivamente, es por eso que debe ser alcalina el agua de la caldera para que no destruya la tubería. Cuando hay demasiados sólidos disueltos en el agua existe gran cantidad de conductividad y mediante tratamientos adecuados que pueden ser vigilados por un operador o su vez el empleo de productos químicos se obtendrá un adecuado tratamiento (Shun et al., 2008, pp. 5-6).

### 1.2. Planteamiento del problema

En las últimas décadas, se ha realizado estudios y aplicaciones de diferentes métodos para el tratamiento de agua cruda que será usada en los equipos de laboratorio de procesos industriales como caldera, reactores, evaporadores entre otros, el cual es de suma importancia porque certifica una extensa duración, libre de complicaciones operacionales y accidentes. Como propósito primordial del tratamiento de agua es impedir que existan inconvenientes de corrosión e

incrustaciones en los equipos y tuberías, certificando que la calidad del agua de alimentación cumpla con los requerimientos de las normas para calderas, ya que puede hacerse extensivo para el uso en otros equipos existentes en el laboratorio (Oelker, 2019, pp. 2–3).

En el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias se detectó que algunos equipos se deterioran rápidamente debido a que no existe un tratamiento como tal del agua cruda (agua de pozo) utilizada en los equipos, debido a que esta posee una cantidad elevada de dureza lo que produce una eminente corrosión de estos, problema que afecta a las distintas prácticas dentro del laboratorio y a su vez el daño de tuberías y de los distintos equipos.

Por consiguiente, el tratamiento del agua cruda se desarrollará mediante la utilización de las normas de agua para la alimentación del caldero y así esta quedará apta para la utilización de los otros equipos, este tratamiento que se requiere dar al agua, se logrará mediante la implementación de un diseño y la construcción de un sistema para tratar el agua de pozo para la alimentación de agua a la caldera y así prevenir la corrosión en todos los equipos del laboratorio, asegurando reducir al mínimo los parámetros nocivos que contiene el agua y así mantener los equipos en buen estado listos para utilizarse en distintas prácticas.

### **1.3. Justificación**

La vida útil y la eficiencia con que operan los equipos del laboratorio como son caldera, evaporadores, reactores entre otros, así también el coste de operación, la seguridad en su acción y su permanencia requiere en gran magnitud de la calidad del agua con que se suministran estos equipos (Colcha, 2013, p. 25). La eficacia de un cuerpo de agua está puntualizada en términos característicos tanto físicos como químicos, requisitos y requerimientos de un sistema hídrico que abastece el agua cumpliendo así con la exigencia de calidad (Chang, 2019, p. 8).

La corrosión e incrustaciones se define como la creación de un revestimiento de materia sólida en el área de calentamiento de los equipos donde atraviesa el agua. El revestimiento se produce por sales diluidas que contiene el agua al ingresar a los equipos del laboratorio como la caldera (Colcha, 2013, p. 25). Es importante mencionar que para los generadores de vapor el agua a utilizar debe estar tratada caso contrario afecta en su funcionamiento y durabilidad generando en los equipos y tuberías incrustaciones, taponamientos, etc. Entonces para evitar estos perjuicios a los equipos es necesario que los parámetros físicos químicos del agua estén dentro de los márgenes constituidos por las normas de agua para caldera (Guamán & Arias, 2011, p. 12).

El agua que proviene de la ESPOCH es de pozo, en análisis anteriormente realizados se ha determinado que presenta una dureza elevada lo que provoca daños y deterioro a los equipos como es la corrosión e incrustaciones (Totoy & Moreta, 2016, pp. 5–6). Es por lo que se plantea la presente investigación sobre el diseño y construcción de un sistema de tratamiento del agua proveniente del pozo, para volverla apta en la etapa de alimentación de los diferentes equipos de

laboratorio evitando inconvenientes afines a la corrosión, como son: aumento de costos, disminución del rendimiento, consumo exagerado de agua, combustible y mantenimiento.

Los estudiantes de la carrera de ingeniería química y de la facultad de ciencias serán los beneficiarios directos del presente proyecto técnico, debido a que en el laboratorio de procesos industriales se realizan las adaptaciones del agua tratada para los equipos del mismo y así se podrán utilizar sin problemas de corrosión, sin embargo, la comunidad politécnica de las diferentes carreras, profesores, técnicos e investigadores que deseen hacer prácticas y utilizar los equipos serán los beneficiarios indirectos del trabajo técnico realizado en el laboratorio de la ESPOCH.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar y construir un sistema de tratamiento del agua de pozo, utilizada en la ESPOCH para uso en los equipos del laboratorio de procesos industriales.

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Realizar el análisis del estado actual de los equipos y tuberías del laboratorio de procesos industriales.
- Caracterizar el agua de pozo empleada en el laboratorio de procesos industriales.
- Realizar pruebas de tratabilidad al agua cruda con el fin de adecuarla para el uso en los equipos de laboratorio.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para dimensionar y construir el sistema de tratamiento.
- Validar el diseño construido en base a la normativa ambiental vigente nacional o internacional.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En Venezuela, Belzares et al., (2020, pp. 10–11) realizaron un estudio con el objetivo de proponer un sistema de tratamiento de agua proveniente del Lago Maracaibo con el fin de utilizarla como agua para calderas, mencionando que utilizaron una indagación de tipo descriptivo con diseño experimental y documental. Para lo cual empezaron por la caracterización del agua del lago, registrando valores elevados de dureza como es de 706.002 ppm, resultando ser agua dura con alta salinidad, conductividad y un pH neutro, que sin duda necesita de mejoras para ser empleada en las calderas y así poder compararlo con la norma británica BS 2486-1997.

Belzares et al., (2020, pp. 10-11) observan en el análisis que el agua presenta partículas sedimentadas por lo que proponen que el agua que está almacenada en los tanques sea transportada a filtros con el fin de eliminar los flóculos cumpliendo así un primer tratamiento, seguidamente realizan un segundo tratamiento ya que el agua presenta formación de hongos en el recipiente, este tratamiento consiste realizar la inyección del biocida para que la materia orgánica (hongo) que está presente en el agua no afecte a las tuberías o equipos, posteriormente se coloca el suavizador con el propósito de eliminar la dureza es decir los cationes presentes en el agua que puedan generar incrustaciones o depósitos en los equipos. Finalmente, plantean instalar el desaireador con el objetivo de eliminar gases disueltos presentes antes de que esta llegue a la caldera, cumpliendo así con los parámetros de la Norma Británica y obteniendo agua totalmente apta para la utilización de estos equipos.

Por su parte Colcha, (2013, p. 12) al analizar el problema de corrosión que presentaba los equipos de la planta de Lácteos de Tunshi, menciona que ha realizado una investigación experimental e inductivo, la cual se llevó a cabo con el análisis del diagnóstico del agua de alimentación, permitiéndole conocer si los datos obtenidos se encuentran dentro de la norma técnica ASME. Con los resultados llegó a obtener un valor de dureza de agua de 286.3 ppm, mediante ese valor comprobó que el índice de Langelier es de 1.6 siendo agua incrustante por ende llamadas “aguas duras”, con ello pudo realizar un proceso a la resina que está dentro del ablandador el cual consistió en una activación de la misma empleando cloruro de sodio, pero en el análisis encontró que los parámetros siguen sin estar bajo la norma técnica dando un valor de 98.2 ppm de dureza y la eficiencia del ablandador es 65.7 %. Como último análisis utilizó un compuesto líquido llamado ADL(TQ-SOFT-ADL) que, mezclado con un programa de dosificación, control y monitoreo, refuerza la protección al circuito de vapor teniendo una perfecta utilidad operativa y

estableciendo que los parámetros se encuentren dentro del rango de la norma. Los últimos análisis presentan que la eficiencia del ablandador es del 100% y que el agua de alimentación no contiene dureza (0 ppm) por lo llegó a obtener agua totalmente blanda para la utilización de la planta.

## 2.2. Referencias teóricas

### 2.2.1. Localización

El Trabajo se efectuará en el cantón de Riobamba, provincia de Chimborazo, específicamente en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a continuación, se indicará las coordenadas geográficas de la misma.

**Tabla 1-2:** Características Geográficas del laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Parámetro	Descripción
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Parroquia	Lizarzaburu
Altitud	2822 m.s.n.m
Longitud	78° 40' 45.38 '' O
Latitud	1° 39' 20.80'' S
Temperatura Promedio	8 °C – 19°C

Fuente: Google Maps, (2022).

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.



**Ilustración 1-2:** Localización de la Facultad de Ciencias y sus laboratorios.

Fuente: Google Maps, (2022).

### 2.2.2. Agua para calderas

El agua es primordial para el uso de una caldera por ello es que se utiliza frecuentemente agua de pozo, pero es importante saber que esta agua que se encuentra directamente en la naturaleza no es 100% pura, debido a que se contamina por el paso de la superficie o incluso por el aire, esta se carga de materia en suspensión, así también de partículas de arcilla, restos de vegetación, sales diluidas y de materia orgánica (Guamán, 2011, p. 14).

### 2.2.3. Condiciones de uso del agua en la caldera

Los parámetros que debe cumplir el agua para la alimentación de una caldera son:

- Cumplir con una turbidez menor a 10 ppm, caso contrario será controlada mediante a una filtración.
- Debe contener una dureza máxima de 15 ppm.
- No debe contener grasas y aceites.
- El agua debe ser exenta de presencia de oxígeno.
- El contenido de sílice debe ser lo más bajo posible (Abarca & Dummer, 2016, p. 3).

### 2.2.4. Calidad del agua

La eficacia del agua es importante porque es un factor ecológico esencial, bueno para la salud y para el crecimiento económico, es así como los recursos hídricos requieren de un enfoque integrado para que cumplan los parámetros que establece la normativa (Villena, 2018, p. 304). El agua posee diferentes características porque depende del sitio de donde provenga y éstas se dividen en físicas, químicas y biológicas las cuales son las que permiten comprobar la calidad de esta (Caminati & Caqui, 2013, p. 15). A continuación, se muestran parámetros que decretan si el agua es aceptable para su debido uso (Chavez de Allain, 2012, p. 15; Caminati & Caqui, 2013, p. 16).

**Tabla 2-2:** Indicadores de la calidad del agua.

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
<b>Parámetros físicos</b>	Sólidos o residuos, turbiedad, color, olor, temperatura y sabor
<b>Parámetros químicos</b>	Aceites y Grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros, dureza, pH, cloruros, sodio, sulfatos

<b>Parámetros biológicos</b>	Algas, bacterias (coliformes termotolerantes y coliformes totales), recuento heterotrófico, protozoos, virus y helmintos patógenos.
------------------------------	---

**Fuente:** (Chavez de Allain, 2012, p. 15; Caminati & Caqui, 2013, p. 16).

**Realizado por:** Cabrera, Diana, 2022.

## ***2.2.5. Factores que intervienen en la calidad del agua***

### ***2.2.5.1. Turbiedad***

La turbiedad es causada por la presencia de coloides en suspensión, la cual es finamente dividida y difícil de sedimentar (Martínez & Idrobo, 2012, p. 27). Es producida a través de partículas que constituyen los métodos disueltos que están en el agua y son aquellas que por su dimensión están reduciendo así la pureza del agua. Para realizar el control de la misma se utiliza el equipo del turbidímetro o nefelómetro donde sus unidades son UNT (Unidades nefelométricas de turbiedad) (Barrenechea, 2020, pp. 5–6).

Algunos parámetros no son deseables para los estudios industriales como lo son la turbidez y sedimentos puesto a que estos varían ampliamente a partir de cantidades de 0 en aguas subterráneas hasta 60000 ppm, en aguas sucias o turbias proveniente de ríos (Martínez & Idrobo, 2012, p. 27).

### ***2.2.5.2. Color***

Es una característica que puede estar ligada con la turbiedad y por la asistencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, etcétera ya que estos compuestos en solución confieren color a las aguas superficiales, determinándose mediante la comparación con estándares (Barrenechea, 2020, pp. 8–9; Martínez & Idrobo, 2012, p. 28).

### ***2.2.5.3. Potencial de hidrogeno (pH)***

Es la representación ácida o básica del agua formada por el agrupamiento de los iones hidrógeno  $H^+$  presentes en el agua (Martínez & Idrobo, 2012, p. 27). Influyen en fenómenos como son la corrosión e incrustaciones en canales de distribución, la determinación del pH se lo efectúa mediante potenciométricos (pHmetro) y colorimétrico (indicadores) (Barrenechea, 2020, p. 13; Martínez & Idrobo, 2012, p. 27).

Se considera que tanto para aguas crudas como tratadas el pH está en un rango de 5.0 a 9.0 permitiendo controlar sus efectos, mientras que para el consumo humano (agua potable) está en el rango de 6.5 a 8.5 (Barrenechea, 2020, p. 13).

#### 2.2.5.4. Sólidos totales disueltos

Conocidos como sólidos filtrantes e indican el conjunto de sales que existen disueltas en el agua que por ende son difíciles de remover cuando se la quiere utilizar en procesos u operaciones industriales ya que están relacionados con la incrustación y corrosión del agua (Guamán, 2011, p. 16). Los sólidos disueltos se determinan en forma directa por evaporación de una muestra previamente filtrada y pesada del residuo salino (Martínez & Idrobo, 2012, p. 31).

#### 2.2.5.5. Sólidos en suspensión

Son materiales que están dispersos en el agua los cuales se eliminan con filtros y son llamados también turbidez, son peligrosos en el agua especialmente para los calderos, espuma y lodos, según revistas especializadas el agua debe tener una turbidez menor de 10 ppm (Arboleda, 1992, p. 15). Se menciona que estos sólidos en suspensión tienen partículas mayores a un micrómetro siendo representados en ppm (parte por millón) (Martínez & Idrobo, 2012, p. 31).

#### 2.2.5.6. Alcalinidad

Es la facultad que tiene el agua para neutralizar los ácidos siendo la agregación de todas las bases titulables. Es la suma de contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que contribuyen a la misma viéndose afectada por el pH, temperatura, composición del agua y por la fuerza iónica (Martínez & Idrobo, 2012, pp. 28–29; Barrenechea, 2020, p. 18).

En el tratamiento del agua es importante debido a que reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) que se realiza en el proceso de coagulación por lo que se usan dos indicadores como son la fenolftaleína (P) y el anaranjado de metilo (M) para su titulación, al mismo tiempo, es un parámetro de carácter cáustico, incrustante y corrosivo que tiene el agua (Barrenechea, 2020, p. 17).

**Tabla 3-2:** Tabla para calcular la alcalinidad de los tres iones como carbonatos de calcio.

<b>Alcalinidad P y M</b>	<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Carbonatos (CO<sub>3</sub>)</b>	<b>Hidróxidos (OH)</b>
P = 0	M	0	0
P = M	0	0	M
P = 1/2 M	0	M	0
P < 1/2 M	M-2P	2P	0
P > 1/2 M	0	2(M-P)	2P-M

Fuente: (Martínez & Idrobo, 2012, p. 29).

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

### 2.2.5.7. Dureza total

Hace referencia al contenido de sales de calcio  $\text{Ca}^{2+}$  y magnesio  $\text{Mg}^{2+}$  y está expresada como mg/L o ppm de  $\text{CaCO}_3$  que se integran al agua de manera natural debido a las disoluciones de las formaciones rocosas presentes del suelo (Chavez de Allain, 2012, p. 21). Mediante estudios realizados se menciona que el calcio tiene mayor abundancia que el magnesio, por ende, los carbonatos y bicarbonatos de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  componen la dureza temporal, al contrario, los sulfatos, cloruros y nitratos constituyen una dureza permanente (Guamán, 2011, p. 16).

La cantidad de sales de calcio y magnesio son muy interesantes para vigilar los depósitos que existen sobre los tubos o el equipo, normalmente conocido como incrustaciones, para ello se ha clasificado el agua según su grado de dureza (Meza & Pérez, 2011, p. 3).

**Tabla 4-2:** Clasificación de la dureza del agua en ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

Tipos de agua	Rango de dureza en ppm de $\text{CaCO}_3$
Agua muy blanda	0 – 15
Agua blanda	16 – 75
Agua semi-dura	76 – 150
Agua dura	150 – 300
Agua muy dura	más de 300

Fuente: (Cervantes, 2015, p. 9).

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

La dureza se clasifica en:

- ***Dureza temporal o alcalina***

Este tipo de dureza se forma por las sales bicarbonatadas de calcio y magnesio, por ende, al tener una temperatura alta provoca que se descomponga el bicarbonato en dióxido de carbono y carbonato magnésico y cálcico, esto admite que precipite y sea insoluble al formar las incrustaciones dejando la típica mancha blanca en el fondo del equipo y para eliminar esta dureza se lo hace por medio de ebullición (Meza & Pérez, 2011, p. 3).

- ***Dureza permanente o no alcalina***

Es aquel tipo de dureza que no se puede eliminar por ebullición y es formada por sales neutras de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  donde también forman parte los sulfatos, cloruros, nitratos y fluoruros, esta dureza permanente es conocida como no carbonatada (Meza & Pérez, 2011, p. 3).

#### 2.2.5.8. Aceites y grasas

Según Chavez de Allain, (2012, p. 21) los aceites son compuestos orgánicos insolubles en agua formados por ácidos grasos que son de origen animal, vegetal, también por hidrocarburos del petróleo, es por ello que se presentan características principales como:

- Insolubilidad en el agua
- Depreciación en la densidad
- Baja o nula biodegradabilidad

Este parámetro al no ser controlado permite que en la zona del líquido se formen natas, alterando así la eficiencia del agua lo que afecta a otros factores como la apariencia, olor y sabor, para ello es recomendable que exista ausencia de aceites y grasas en el agua así lo menciona la norma de calidad de la misma (Chavez de Allain, 2012, p. 21).

#### 2.2.5.9. Sílice

La presencia de este compuesto en equipos industriales es indeseable ya que produce incrustaciones duras y de arrastre que son difícil de remover (Martínez & Idrobo, 2012, p. 29). Esta impureza procede por la disolución de rocas silíceas y por la degeneración de feldespato, generalmente se encuentra en un rango entre 1-150 ppm, es por lo cual el contenido de sílice en el agua para alimentación de una caldera debe ser menor a 150 ppm (Martínez & Idrobo, 2012, p. 29; Guamán, 2011, p. 17).

#### 2.2.5.10. Hierro

Se encuentra principalmente en el agua subterránea (pozo) como bicarbonato ferroso o en forma de complejos organoférricos, ocasionando obstrucciones y el almacenamiento en los canales de distribución, del mismo modo que provocan alteraciones en el color y turbiedad del agua (Guamán, 2011, p. 17). Se menciona mediante estudios que cuando exista concentraciones bajas como 0.3 ppm ya ocasiona problemas en equipos como los intercambiadores de calor (Barrenechea, 2020, p. 33).

#### 2.2.5.11. Índice de estabilidad del agua

Existen múltiples índices que son utilizados para establecer que tan agresiva o incrustante es el agua en función de su pH, dureza, temperatura, alcalinidad y de sólidos disueltos, siendo el más utilizado el índice de Langelier (IL) por medio de éste se define la cantidad de agresividad que

tiene el agua con respecto al carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y se determinará si es estable o no (Varo et al., 2004, p. 3).

▪ **Índice de Langelier ( $I_L$ )**

Langelier está basado en el efecto del pH como variable principal de la proporción de la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ , como concepto del índice de Langelier, se menciona que es el valor del pH medido del agua menos el pH de saturación ( $pH_s$ ) (De Sousa et al., 2010, p. 3). Se calcula mediante su fórmula:

$$I_L = pH - pH_s$$

Donde:

- pH = El pH (agua analizada)
- $pH_s$  = El pH (agua saturada con  $\text{CaCO}_3$ )

$pH_s$  se lo obtiene mediante:

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

Donde:

$$A = (\text{Log}_{10} [STD] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ C + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10} [Ca^2] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{alcalinidad como CaCO}_3]$$

El índice de Langelier indica que:

- Para un  $I_L > 0$ , existe agua sobresaturada, el  $\text{CaCO}_3$  se deposita, por lo que el agua es incrustante.
- Si  $I_L = 0$ , el agua se encuentra en equilibrio con  $\text{CaCO}_3$ .
- Donde el  $I_L < 0$ , el agua está insaturada, el  $\text{CaCO}_3$  se disuelve por lo que el agua es agresiva y corrosiva (De Sousa et al., 2010, p. 3; Varo et al., 2004, p. 4).

### **2.2.6. Agua Subterránea**

Es aquella que se encuentra, ocupando el segundo lugar como el distribuidor de agua dulce, forma parte invisible y subterránea de ciclo del agua, ya que se la localiza bajo la superficie terrestre que es colectada a través de perforaciones, túneles, mediante manantiales o filtraciones permitiendo ser el recurso natural más usado por la población (Caballero & Soler, 2005, p. 5).

El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento debido al incremento en la demanda hídrica donde las grandes urbes exigen la calidad de la misma para suplantar sus necesidades (Subba Rao & Chaudhary, 2019, p. 3). Se menciona que a nivel global 1/3 de las extracciones de agua dulce corresponde a una fuente subterránea, destinada para diferentes usos agrícolas (42%), doméstico (36%) e industrial (22%) (Döll et al., 2012, p. 4).

### **2.2.7. Tipos de aguas Subterráneas**

Dentro de las condiciones de yacimiento se mencionan 4 tipos de aguas subterráneas:

#### **2.2.7.1. Aguas suspendidas**

Se encuentran a poca profundidad bajo la superficie de la tierra, usualmente se localizan en la zona de aeración, es decir están encima de un área impermeable y un área permeable el cual dan paso a grandes caudales, su uso es limitado ya que se puede secar al atravesar la capa impermeable (Santacruz, 2014, p. 23).

#### **2.2.7.2. Aguas freáticas**

Son las que se encuentran bajo las aguas suspendidas por lo que no son tan profundas y pueden acumularse en los poros de las rocas, arena y grava que están en la primera capa impermeable (Santacruz, 2014, p. 23).

#### **2.2.7.3. Aguas artesianas**

Se originan bajo condiciones estructurales y se acumulan en zonas ondulares de las rocas. La mayoría de las veces se localizan en los pliegues sinclinales y monoclinales de las capas de rocas (Santacruz, 2014, p. 23).

#### **2.2.7.4. Aguas confinadas**

Estas aguas se diferencian de las anteriores ya que se hallan confinadas entre dos capas impermeables continuas permitiendo que la presión sea superior a la de la superficie (Santacruz, 2014, p. 23).

### 2.2.8. Impurezas del agua

El agua en su estado natural abarca muchas impurezas siendo perjudiciales para el uso humano como en la industria, pues estas suciedades agrandan el consumo de combustible y así también se eleva precio de mantenimiento, de tal manera que la vida útil de los equipos disminuirá (Alba et al., 1999, p. 13).

### 2.2.9. Consecuencia de las impurezas contenidas en el agua

En el libro “Tratamiento externos e internos del agua para calderas” del autor González et al., (2000, p. 148) menciona cuales serían los parámetros contaminantes del agua y que efectos producen.

**Tabla 5-2:** Parámetros y contaminantes habituales del agua.

Parámetros	Representación	Problema típico que plantea	Tratamientos correctos
Turbidez	NTU	Deposiciones en las líneas de agua, equipos y calderas.	Coagulación, sedimentación, filtración.
Color	Unidades de color	Genera espumación en las calderas y obstaculiza los métodos de precipitación.	Coagulación, filtración, cloración, adsorción.
pH	[H <sup>+</sup> ]	Disolución y Precipitación de metales.	Neutralización con ácidos y bases.
Conductividad	Ms	Resultado de sólidos ionizables, alta conductividad genera aumento de características corrosivas del agua.	Desmineralización.
Sólidos disueltos	TDS	Altas concentraciones de materia total disuelta determinada por evaporación interfieren en los procesos de tratamiento generando espumas en las calderas.	Procesos de cal, Intercambio iónico, ósmosis inversa, destilación.
Sólidos Suspendidos	TSS	La materia no disuelta suspendida determina gravimétricamente, tapona las líneas de circulación de los fluidos y produce depósitos e incrustaciones en líneas y equipos de vapor.	Filtración, coagulación, sedimentación.
Dureza	Ca y Mg expresado como CaCO <sub>3</sub>	Causantes de incrustaciones en los equipos de intercambio de calor, generan cuajadas con los jabones y posteriormente barros y lodos.	Ablandamiento cal-sosa, osmosis inversa, intercambio iónico, tratamientos internos, agentes activos a las superficies.
Alcalinidad	CaCO <sub>3</sub>	Formación de espumas y transporte de sólidos en el vapor. Promueve la fragilidad del acero de las calderas, generación de CO <sub>2</sub> por los carbonatos y bicarbonatos, potencial fuente de corrosión.	Procesos de cal-sosa, acidificación, intercambio iónico, osmosis inversa, electrodesionización, destilación.

Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Corrosión en las líneas de agua, vapor y condensados.	Desgasificación, neutralización con bases y con aminas.
Oxígeno	O <sub>2</sub>	Corrosión en las líneas de agua, equipos de intercambio de calor, calderas y circuitos de retorno de condensados.	Desgasificación, sulfito sódico, inhibidores de la corrosión.
Grasas	Grasa	Costras, lodos y espumas en las calderas.	Separadores de grasas, coagulación, filtración.
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Añade sólidos al agua combinado con el calcio, forma las incrustaciones de sulfato cálcico.	Procesos de desmineralización, destilación.
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	Añade sólidos al agua y aumenta las características corrosivas del agua.	Procesos de desmineralización, destilación.
Nitratos	NO <sub>3</sub>	Añade sólidos al agua, es útil para controlar la fragilidad metálica de las calderas.	Procesos de desmineralización, destilación.
Sílice	SiO <sub>2</sub>	Genera incrustaciones de las calderas y circuitos de calor.	Adsorción, intercambio iónico, destilación.
Hierro	Fe <sup>+2</sup> y Fe <sup>+3</sup>	Puede generar color y es fuente de precipitados y lodos en las líneas de agua y de vapor.	Coagulación, filtración, intercambio iónico, agentes activos a las superficies.

Fuente: (González et al., 2000, p. 148).

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

### 2.3. Caldera

La principal labor de una caldera es la de producir cantidades de vapor de agua, por ende, también se la conoce como intercambiador de calor, en sí este equipo no es más que un contenedor metálico donde el vapor que se forma se lo realiza mediante una transferencia de calor con parámetros de temperatura mayor a la del ambiente y a presión superior a la atmosfera, por lo general el fluido que está en estado líquido, se calienta permitiendo un cambio de fase y obteniendo energía utilizable (Miranda, 2018, p. 3).

### 2.3.1. Partes de una caldera

Principalmente una caldera se constituye de los siguientes elementos:

- Cámara de combustión, que es en el que se lleva la combustión del combustible.
- Un cuerpo intercambiador de calor, el cual absorbe el calor liberado de la combustión y pues en esta parte se encuentra el agua.
- Una envolvente, que es el que aísla térmicamente la cámara de combustión y el cuerpo intercambiador.
- Hogar holandés, el cual es usado para aumentar el volumen de la cámara de combustión (Lawrence Kohan, 2000, pp. 12–13).

## 2.4. Tipos de Calderas

### 2.4.1. Calderas Pirotubulares o de tubos de humo

Este tipo de calderas son muy utilizables a nivel industrial puesto que en ellas circulan los gases calientes de la combustión y lo realizan en el interior de los tubos que están rodeados por agua en la parte externa. Pues el líquido absorbe el calor de los gases de combustión para calentarse produciendo vapor el cual es empleado en otros procesos industriales (Torres, 2015, p. 9).

Estos gases que son producto de la combustión se enfrían a medida que transitan por los tubos, es decir, que transportan su calor al agua facilitando así la transferencia de calor que existe entre los gases de combustión y el fluido que en este caso es el agua, al ocurrir esto la temperatura crece hasta llegar a exceder su punto de ebullición y así generar la obtención de vapor de agua (Torres, 2015, p. 9; Guamán, 2011, p. 22).



**Ilustración 2-2:** Esquema de una caldera pirotubular horizontal.

**Fuente:** (Coakley et al., 2010).

El conjunto de agua y los tubos de gases están rodeados por una carcasa exterior parecida a un cilindro cerrado por ambos extremos por ende la presión de trabajo no excede de  $29 \text{ kg/cm}^2$  y la máxima producción de vapor suele ser del orden de  $25 \text{ t/h}$  (Clara, 2017, p. 20–21).

#### **2.4.2. Calderas Acuotubulares**

En este tipo de calderas, lo que transita por el interior de los tubos es el agua que forman un circuito cerrado mediante la utilización de calderín o calderines y a su vez constituye el área de intercambio de calor de la caldera, estos equipos se constituyen por utilizar tubos de agua y refractario permitiendo así producir la combustión del fluido (combustible) y a su vez estableciendo el sitio de la radiación de la caldera (Torres, 2015, p. 10). Estas calderas se integran de cuatro partes: un calderín o domo inferior que es para el agua de alimentación, el domo o calderín superior donde se genera el vapor, tuberías que conectan a los calderines y por un sobrecalentador/economizador (Torres, 2015, pp. 10–11).



**Ilustración 3-2:** Esquema de una caldera acuotubular.

**Fuente:** (Fenercom, 2019, p. 6).

Para las calderas acuotubulares que se usan dentro de la industria estas limitan presiones inferiores a  $64 \text{ kg/cm}^2$  y temperaturas menores a  $450^\circ\text{C}$  por lo que no son empleadas con frecuencia (Clara, 2017, p. 20).

## 2.5. Impurezas del agua en una caldera

En el libro “Manual de Calderas” del autor Lawrence Kohan, (2000, pp. 721-723) menciona los efectos que afectan a la caldera por no tratar el agua.

**Tabla 6-2:** Efectos de las Impurezas en el agua de caldera.

Nombre Común	Término Químico	Manifestación (Concentración excesiva)	Símbolo
<b>Cal</b>	Bicarbonato cálcico	Incrustación blanda (se disuelve en ácido carbónico)	Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Carbonato cálcico	Incrustación blanda	CaCO <sub>3</sub>
<b>Magnesia</b>	Carbonato magnésico	Incrustación yesosa	MgCO <sub>3</sub>
<b>Sílice</b>	Dióxido de silicio	Incrustación ligera, frágil y dura	SiO <sub>2</sub>
<b>Yeso (empaste de parís)</b>	Sulfato cálcico y agua cristalizada	Incrustación suave y dura	CaSO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O
<b>Cloruro Magnésico</b>	Cloruro magnésico	Forma ácido clorhídrico con el agua	MgCl <sub>2</sub>
<b>Sales Epsom</b>	Sulfato magnésico hidratado	Corrosivo	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O
<b>Sal común de mesa</b>	Cloruro sódico	Produce espuma	Na <sub>2</sub> Cl
<b>Sales de Glauber</b>	Sulfato sódico	Produce espuma	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>Cenizas de sosa</b>	Carbonato sódico	Produce espuma	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
<b>Soda de hornear</b>	Bicarbonato sódico	Produce espuma	NaHCO <sub>3</sub>
<b>Gas</b>			
<b>Oxígeno</b>	Oxígeno	Acelera la corrosión electrolítica	O <sub>2</sub>
<b>Dióxido de carbono</b>	Dióxido de carbono	Forma un ácido con el agua	CO <sub>2</sub>
<b>Cloro</b>	Cloro	Forma un ácido con el agua	Cl
<b>Sustancias Orgánicas como lodos o versión</b>			
		Espumas y depósitos	
<b>Ácidos</b>			
<b>Ácido sulfúrico</b>	Ácido sulfúrico	Corrosivo	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>Ácido clorhídrico</b>	Ácido muriático	Corrosivo	HCl
<b>Álcalis</b>			
<b>Hidróxido sódico</b>	Sosa cáustica	Eliminación cáustica del óxido protector de los metales	Na (OH)

<b>Hidróxido Magnésico</b>	Hidróxido magnésico	Eliminación cáustica del óxido protector de los metales	Mg (OH) <sub>2</sub>
----------------------------	---------------------	---	----------------------

Fuente: (Lawrence Kohan, 2000, pp. 721-723).

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

## 2.6. Problemas de las impurezas en equipos industriales

### 2.6.1. Incrustación

Es el depósito adherente sobre la superficie de transferencia térmica en lo que corresponde a las calderas originando una costra que es procedente de las sustancias minerales o impurezas sedimentales que tiene el agua sobre el área de calefacción (Alba et al., 1999, p. 5). Son establecidas por elementos cuya solubilidad disminuye al aumentar la temperatura del agua como por ejemplo el carbonato cálcico, sulfato cálcico, hidróxido cálcico y manganésito entre otros (Cid & Martínez, 2013, p. 48).

A continuación, se muestra cuáles son las impurezas que causan incrustaciones, es importante mencionar que el tercer grupo no puede provocar como tal incrustación, sino que la mayoría es más activa de provocar corrosión (Lawrence Kohan, 2000, p. 541).

**Tabla 7-2:** Compuestos químicos formadores de los diferentes tipos de incrustaciones.

<b>Incrustación</b>	<b>Incrustación blanda</b>	<b>Formador de incrustación o corrosión</b>
Sulfato cálcico	Bicarbonato cálcico	Nitrato cálcico
Silicato cálcico	Carbonato cálcico	Cloruro cálcico
Silicato magnésico	Hidróxido cálcico	Cloruro magnésico
Sílice	Bicarbonato magnésico	Sulfato magnésico
	Carbonato magnésico	Nitrato de magnesio
	Hidróxido magnésico	Alúmina
	Fosfato cálcico	Silicato sódico
	Carbonato de hierro	
	Óxido de hierro	

Fuente: (Lawrence Kohan, 2000, pp. 541).

Realizado por: Cabrera, Diana, (2022).

Como se observa en la ilustración 4-2, donde existe presencia de impurezas en los tubos de humo de una caldera pirotubular, la cual está afectada por incrustaciones superiores a 8 mm lo menciona Oelker, (2019, p. 7), en su artículo del tratamiento de agua para una caldera.

Si estas impurezas no son removidas del equipo corre riesgo de obstruir las líneas de purga, afectar su utilidad y eficiencia por lo que el problema se tornaría más costoso.



**Ilustración 4-2:** Presencia de incrustaciones en tubos de humo de una caldera pirotubular.

**Fuente:** (Oelker, 2019, p. 7).

#### *2.6.1.1. Prevención de la formación de incrustaciones*

Para impedir la formación de costras en equipos industriales especialmente en la caldera es necesario emplear las siguientes estrategias:

- Evadir la utilización de agua dura en la alimentación de la caldera debido a que la dureza contiene sales de calcio y magnesio.
- Mantener la concentración de impurezas de acuerdo con los márgenes requeridos y utilizando un tratamiento de agua.
- Seguir tratamiento químicos externos e internos ayudará a disminuir las incrustaciones (Lawrence Kohan, 2000, pp. 541–545).

#### **2.6.2. Corrosión**

Es el deterioro de las paredes metálicas de los equipos siendo estas atacadas a través del efecto que tienen las impurezas comprendidas en el agua, se menciona que es la segunda causante de problemas dentro de los equipos, los orígenes de la corrosión logran agruparse por su agresión sobre las zonas metálicas de caldera. El deterioro del metal puede ser por reacción química, mala dosificación y por las impurezas del agua, la corrosión debilita seriamente el metal provocando fallos inesperados en una zona de la caldera (Alba et al., 1999, pp. 553).

### *2.6.2.1. Los factores que causan la corrosión son:*

- Inadecuado uso de dosificación de productos químicos.
- Descenso del pH y alcalinidad.
- Presencia de oxígeno disuelto.
- Elevado contenido de sólidos disueltos.
- Elevado contenido de material suspendido
- Existencia de dióxido de carbono y otros gases disueltos (Colcha, 2013, p. 39).

### **2.6.3. Tipos de Corrosión**

#### *2.6.3.1. Corrosión General*

Es un tipo común de corrosión que afecta directamente a toda la superficie del metal de una manera uniforme deteriorando así la superficie de los tubos por la interacción de la acumulación de impurezas que provocan esta corrosión (Cid & Martínez, 2013, p. 49).

#### *2.6.3.2. Corrosión por Oxígeno o Pitting*

Este tipo de corrosión por oxígeno disuelto se expresa debido a despolarización catódica que es el desequilibrio de un proceso corrosivo llamado por aireación diferencial que es el efecto Evans (Oelker, 2019, p. 5). Cuando un metal está cubierto por costras que son producto de la corrosión o incrustaciones estas por lo general son de color negras y se dan en presencia de oxígeno se debe tener muy presente este parámetro para realizarle una adecuada desgasificación y así ver cumpla los límites permisibles de la norma (Cid & Martínez, 2013, p. 50).

#### *2.6.3.3. Corrosión Cáustica*

Este tipo de corrosión es provocada por una sobre concentración de la sosa caustica en áreas de elevadas cargas térmicas, causando así el deterioro del metal y provocando picaduras en las cavidades profundas del equipo es por eso que es muy similar a la corrosión por oxígeno (Cid & Martínez, 2013, p. 50). Para prevenir este tipo de corrosión cáustica es necesario tener los parámetros de la alcalinidad y el pH en los rangos señalados por las medidas de calidad de agua para la alimentación de una caldera (Oelker, 2019, p. 6).

#### *2.6.3.4. Corrosión por anhídrido carbónico*

Esta corrosión se manifiesta especialmente en las líneas de retorno de condensado la cual contiene efectos sobre la caldera, debido a que los óxidos procedentes son llevados a la misma con el agua que es de alimentación al equipo (Cid & Martínez, 2013, p. 51).

El anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) es un factor muy significativo en el agua ya que este se disuelve en función de su presión parcial provocando una reacción en el agua y dando iones de carbonato y bicarbonato, es decir que el deterioro en estas líneas de retorno se ocasiona por la labor del ácido carbónico que se forman en las mismas (Oelker, 2019, p. 6; Cid & Martínez, 2013, p. 51).

##### ▪ ***Prevención de la corrosión por anhídrido carbónico***

Se utilizan aminas neutralizantes y aminas fílmicas para prevenir el desgaste en las líneas de retorno del condensado, las aminas neutralizantes como su nombre lo dice equilibran la acción del ácido carbónico mientras tanto las aminas fílmicas resguardan las líneas del condensado, es importante recalcar que las aminas son volátiles por lo que son conducidas por el vapor producido en la caldera (Oelker, 2019, p. 6).

#### ***2.6.4. Espumeo***

Un problema que se presenta con mucha frecuencia en las calderas es el espumeo, el cual radica en la creación de una capa de espuma o burbujas que se acumula en la superficie del agua del equipo, y es expulsada por el vapor que sale de la caldera (Colcha, 2013, p. 49). La concentración de suciedades en el agua en especial de los sólidos disueltos se conoce como espumeo.

##### *2.6.4.1. Condiciones para reducir o eliminar el espumeo*

Existen condiciones que permiten reducir el nivel de espumeo siendo sensible a circunstancias de operación estas son:

- Disminución de la acumulación de sólidos en el agua de caldera.
- Expulsión de materias indeseables en el agua.
- Reducción de la evaporación o de la frecuencia de los cambios de operación (Guamán, 2011, p. 41).

### 2.6.5. Arrastre

El arrastre se lo define como las suciedades sólidas y líquidas que son transportadas externamente del caldero mediante el vapor que sale de la misma, y es considerada como contaminante afectando así su eficiencia en el equipo generador de vapor, las impurezas sólidas alcanzan los sólidos suspendidos y disueltos que conlleva el fluido (agua) y en las impurezas líquidas simplemente es el agua de la caldera que no ha sido evaporada (Guamán, 2011, pp. 40–41).

Es necesario conocer cómo se origina esta problemática ya que las razones son ajenas a la naturaleza del agua, hay que tomar en cuenta con la construcción del equipo, primordialmente con la salida de vapor, tamaño del espacio y el consumo del vapor, es importante saber que el arrastre no va a ser eliminado en su totalidad. La cantidad de arrastre en el vapor siempre va a depender de la finalidad a la que esté destinado y del equipo del cual debe pasar el vapor (Guamán, 2011, p. 41; Colcha, 2013, p. 52).

#### 2.6.5.1. Prevención del arrastre

Para la evitar tener arrastres se sugiere conservar los siguientes factores dentro de los márgenes permisibles dispuestos por la norma para el tratamiento de agua de caldera.

**Tabla 8-2:** Parámetros a considerarse para evitar el arrastre.

Parámetros	Condiciones
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	< 700 ppm
Contenido de Sílice (SiO <sub>2</sub> )	<150 ppm
Sólidos disueltos	<300 ppm

Fuente: (Oelker, 2019, p. 9).

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

Al tener excesivas cantidades de sílice, sólidos disueltos y alcalinidad incrementará considerablemente la formación de arrastre y espumeo lo cual será perjudicial para el equipo (Oelker, 2019, p. 9).

## 2.7. Tratamientos de agua para caldera

Es importante poner en práctica que, al usar una caldera, el tratar el agua que ingresa a la misma asegura una espléndida vida útil sin complicaciones de corrosión, incrustaciones, libre de problemas operacionales y accidentes, su principal meta es prevenir las dificultades de corrosión

e incrustaciones, garantizando así la propiedad única del agua que sirve como alimento para el uso de la caldera (Oelker, 2019, pp. 1–3).

Es fundamental saber que el agua de una caldera debe tratarse para eliminar la turbidez, incrustaciones las cuales provocan la pérdida de calor, daños a tubería, la acumulación de minerales insolubles produce una reducción de la claridad del agua y para que sea agua apta para su uso debe estar dentro de los requerimientos de la norma de calidad involucrados en el tratamiento del agua (Alba et al., 1999b, pp. 13–16).

Para que el tratamiento sea efectivo debe considerarse los siguientes parámetros los cuales se los realizara mediante la caracterización fisicoquímico, cumpliendo así con la normativa requerida basada en la norma británica BS 2486-1997 y en la norma ASME.

**Tabla 9-2:** Valores recomendados de calidad de agua en el uso de calderas piro-tubulares.

Parámetro	Unidad	Agua blanda	Caldera	Retorno de caldera
Alcalinidad total	mg/l	< 700	-----	-----
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	< 2.0	< 700	0
Conductividad	uS/cm	< 3500	< 7000	-----
Ph a 25 °C	-----	8.3 - 10.5	10.5 - 11.5	> 7
Sulfitos	mg/l	-----	30-60	-----
Fosfatos	mg/l	-----	30-60	-----
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	mg/l	< 150	< 150	-----
Sólidos disueltos	mg/l	-----	< 3500	50
Sólidos en suspensión	mg/l	-----	< 300	-----

**Fuente:** (DGOS-DIEM, 2019, p. 16)

**Realizado por:** Cabrera, Diana, 2022.

Entonces el tratamiento de agua para una caldera permite alcanzar su objetivo, el cual es de prevenir la corrosión e incrustaciones por ello es necesario conocer el tipo y control del tratamiento químico, cuáles serán los procesos certeros y permisibles para regular las purgas de la caldera, así también conocer que por medio de análisis químicos del agua del interior de la caldera se comprobará la efectividad del tratamiento aplicado (Alba et al., 1999b, p. 21).

## **2.7.1. Tratamientos físicos**

### *2.7.1.1. Filtración*

Es una operación física de separación la cual radica en hacer circular un fluido por un medio poroso permitiendo extraer las sustancias con mayor tamaño en suspensión, esta operación se la emplea antes que el agua llegue a la caldera por ello existe una infinidad de filtros realizados de distintos materiales como son los de malla que sirven para pequeñas instalaciones (Abarca & Dummer, 2016, p. 11; Colcha, 2013, p. 59).

Un filtro consta de un medio filtrante que puede ser grava o arena, silicatos y coque, además contiene el fluido y permite la aplicación de una fuerza dependiendo mucho del agua que se vaya al filtrar sea caliente o fría, dentro del agua caliente como precaución contra un posible arrastre de sílice se utiliza el coque (Colcha, 2013, p. 59).

### *2.7.1.2. Clasificación de los filtros*

- **Filtros por gravedad**

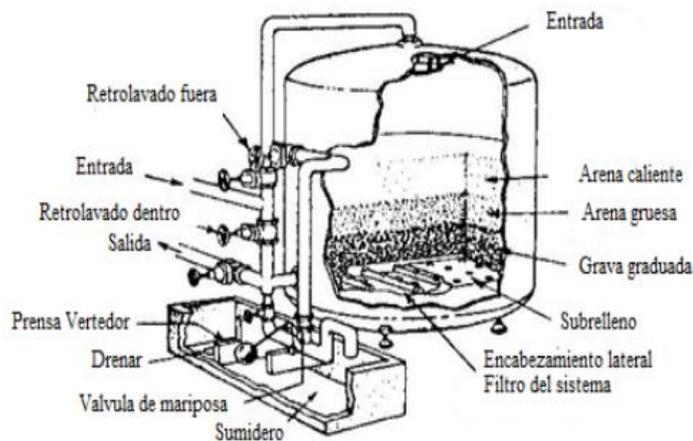
Estos filtros se encuentran accesible a la atmósfera, tienen un diseño especial y consta de un medio filtrante de grava o piedrilla como una primera capa seguidamente tiene lechos de arena fina (Martínez & Idrobo, 2012, p. 33). Es importante mencionar algunos datos sobre el filtro:

- El lecho filtrante debe ser de 1,2 a 1,6 m.
- Flujo de filtración varía de 0,92 a 4,8 gpm/pie<sup>2</sup>.
- Si la pérdida de presión se encuentra entre 2 a 3 m de la columna del agua se comienza con el retro lavado (Martínez & Idrobo, 2012, p. 33).

- **Filtros de presión**

Estos filtros pueden ser de dos formas horizontales o verticales, se constituyen de una coraza cilíndrica el cual contiene un lecho filtrante capaz de cumplir con las operaciones de filtración, retrolavado y enjuague (Martínez & Idrobo, 2012, pp. 34–35).

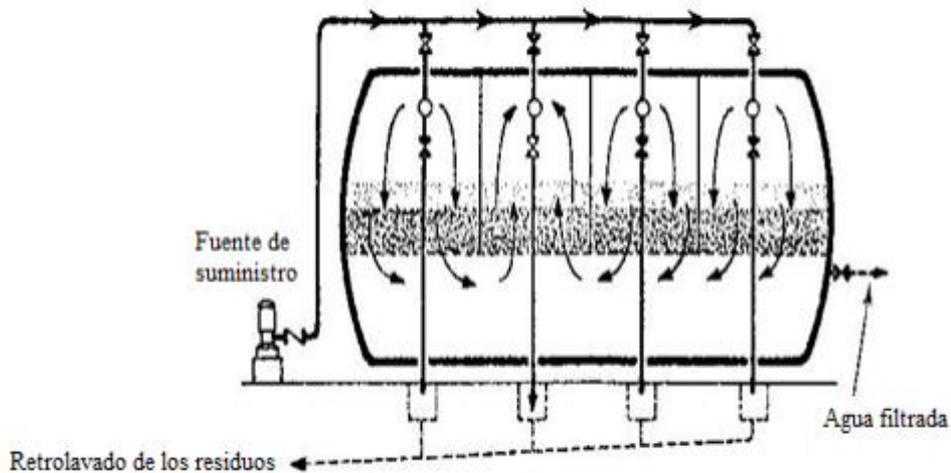
Al operar con presión facilitará los flujos de filtración altos sin la necesidad de sistemas de tubería para el rebombeo y también el operar a temperaturas elevadas si pérdidas de calor siendo una gran característica del filtro vertical (Martínez & Idrobo, 2012, pp. 34–35).



**Ilustración 5-2:** Filtro vertical de presión.

**Fuente:** (Martínez & Idrobo, 2012, p. 34).

Los filtros de tipo horizontal no son usados con frecuencia debido a la gran inestabilidad de los lechos filtrantes, sin embargo, una ventaja es que el flujo y presión de retro lavado es menor que el vertical, puesto que cada sección puede ser operado individualmente (Martínez & Idrobo, 2012, p. 36).



**Ilustración 6-2:** Filtro horizontal de presión.

**Fuente:** (Martínez & Idrobo, 2012, p. 35).

### 2.7.1.3. Filtro de hilo

Este filtro de hilo protege a las instalaciones o equipos de los sedimentos sólidos como lodo, arena, partículas de óxido entre otros, por ende, es ideal para protecciones básicas en caudales medios. Este tipo de filtros proporcionan una mejor limpieza del agua, manteniendo un elevado caudal de paso. Facilita una retención del 95% de las partículas superiores a las 100 micras (Espigares & Pérez, 2018, pp. 4-7). Cabe mencionar que la duración del filtro depende del nivel de

suciedad del agua a filtrar. Cuando se utilice el filtro en aguas no cloradas es recomendable el cambio frecuente del mismo (Espigares & Pérez, 2018, pp. 4-7).



**Ilustración 7-2:** Filtro de hilo de 20 micras para agua.

**Fuente:** (Espigares & Pérez, 2018, pp. 4-7).

#### *2.7.1.4. Desgasificación*

Es una operación que cumple con la función de eliminar del agua los gases disueltos tales son: oxígeno ( $O_2$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), este tratamiento se lo realiza para prevenir la corrosión debido a los gases que son los primordiales agentes corrosivos, existen diferentes procesos que se usan para realizar la desgasificación como son mecánicos, químicos y mixtos (Colcha, 2013, pp. 59-60).

Para elegir un adecuado tratamiento es necesario tomar en cuenta que existen gases los cuales se disuelven en agua como es el  $CO_2$ , este se forma en carbonato cálcico teniendo una alta conductividad y acidificación, el uso de membranas hidrófobas hace que eliminen los productos químicos del agua ofreciendo un método limpio y eficiente (Jhuesa, 2022, pp. 1-2).

Cuando se aplican métodos mecánicos se realizan por medio del recalentamiento del agua y disminución de la presión logrando así la separación de los gases del líquido (Colcha, 2013, p. 60).

#### *2.7.2. Tratamiento externo e interno*

Dentro del tratamiento de agua es necesario conocer que un tratamiento interno es el complemento de uno externo tal es el caso del ablandamiento por precipitación que complementaria dicho método siempre y cuando cumpla con el mismo propósito que sería el de precipitar las sales disueltas en el agua, evitando así el daño del equipo la principal diferencia entre los tratamientos

es que en el externo se emplean para adecuar el agua de alimentación a la caldera y en el interno es el acondicionamiento de impurezas que están en el equipo (Colcha, 2013, p. 64).

El satisfacer la calidad y funcionamiento de la caldera es el propósito de un tratamiento de agua al instalar purificadores y desaireadores que permiten la reducción y eliminación de impurezas, así que es favorable conocer las condiciones internas dentro de la caldera que se originan mediante la rapidez que ocasionan las mismas reacciones químicas, debido a eso no se usan en algunos casos los mismos reactivos tanto para un tratamiento interno como externo (Colcha, 2013, p. 64).

Algunos procesos que se realizan dentro del tratamiento externo para evitar la corrosión e incrustaciones son:

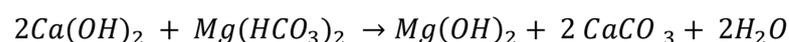
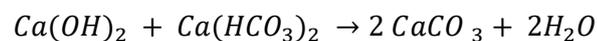
- Disminución de sólidos en suspensión utilizando un sistema de filtrado
- Reducción de dureza por ablandamiento a la cal y ablandamiento por resina
- Reducción de dureza mediante el equipo de intercambio iónico
- Eliminación de gases y oxígeno con el uso de desmineralizadores, evaporadores y desaireadores (Guamán, 2011, p. 31).

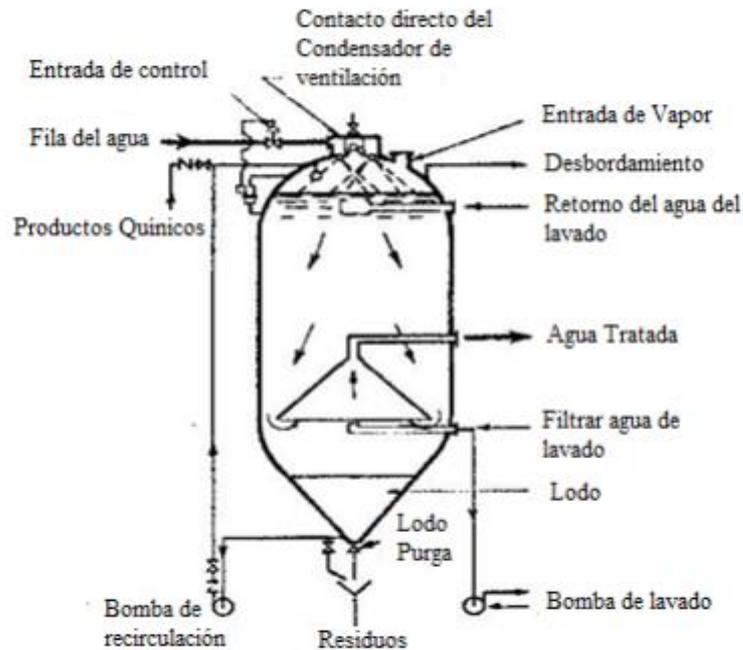
### ***2.7.3. Ablandamiento químico del agua***

El ablandamiento del agua es un proceso de precipitación química que permite excluir los iones de calcio y magnesio presentes en el agua cruda, esta operación se la realiza en frío como en caliente y en la actualidad es el método más efectivo para ablandar el agua, pero a la vez el más complicado y costoso (Martínez & Idrobo, 2012, pp. 35–36).

Consiste en que al agua se le adiciona sustancias que reaccionan con iones de magnesio y calcio transformándolos en compuestos insolubles los que son separados por una filtración o decantación por ello existe distintos procesos para el ablandamiento del agua los cuales son con la cal, con carbonato sódico - cal y con sosa cáustica (Martínez & Idrobo, 2012, pp. 35–36).

Para formar los precipitados insolubles se lo realiza mediante la cal hidratada la cual reacciona con el bicarbonato cálcico soluble o bicarbonato magnésico como se observa en las siguientes reacciones:





**Ilustración 8-2:** Esquemización del equipo de ablandamiento químico para el tratamiento de agua.

**Fuente:** (Martínez & Idrobo, 2012, p. 36).

Una característica del ablandamiento químico por precipitación es que en el tratamiento externo se usan los siguientes reactivos:

#### 2.7.3.1. *La cal o hidróxido de calcio*

Es uno de los reactivos más usados para la eliminación de la dureza temporal, la cal reacciona con los bicarbonatos de magnesio y calcio para así producir hidróxido de magnesio y carbonato cálcico respectivamente separándolos fácilmente del agua por ser insolubles siendo el método más económico para dicho tratamiento, para tener un buen rendimiento se considera operar con un pH sobre los 9.5 siendo un grado efectivo de las reacciones, así mismo, el tiempo dependerá del nivel de temperatura a la que se encuentre las sustancias reaccionantes (Colcha, 2013, p. 61).

#### 2.7.3.2. *Carbonato sódico*

Generalmente se lo aplica para combatir la dureza permanentemente, es decir se lo combina junto con la cal para así lograr un ablandamiento mucho más completo teniendo más efectividad en la eliminación de cloruros, sulfatos de calcio y magnesio, nitratos y otras impurezas que provocan daños como corrosión e incrustaciones en equipos (Colcha, 2013, p. 62).

### 2.7.3.3. Soda cáustica.

Es un gran proceso de ablandamiento de aguas ricas en magnesio, permitiendo que precipitara como hidróxido al reaccionar con el carbonato de sodio y cal, generalmente es un proceso limitado debido a su alto costo (Colcha, 2013, p. 62). La reacción del proceso es:



### 2.7.3.4. Carbonato e hidróxido de bario.

Como desventaja al utilizar carbonato o hidróxido de bario para el ablandamiento del agua es que tiene un alto costo dentro del mercado por lo que no es conveniente utilizarlo ya que no es económico, existe el privilegio de minimizar los sólidos disueltos, es decir que al excluir las sales de magnesio y calcio éstas a su vez serán reemplazadas por bario que se precipitará como sulfato siendo estas sales un complemento del proceso utilizando cal (Colcha, 2013, pp. 62 - 63).

### 2.7.3.5. Coagulantes (aluminato de sodio)

Es un reactivo que con mayor frecuencia es utilizado para eliminar la dureza permanente por ende es necesario llevar un control sin error de su pH, el uso de coagulante es una forma rápida de terminar con la precipitación o bien la separación de dicho precipitado, es decir que al agregarle el coagulante directamente en el tanque de sedimentación no tendrá un eficiente rendimiento del mismo, debido a que se realiza sin disolución esperando así evitar la formación de grumos, pero no abarca los precipitados del agua (Colcha, 2013, pp. 63-64).

### 2.7.4. Ablandador de agua.

Es un equipo diseñado para tratar el agua cumpliendo con la función de eliminar los iones de calcio y magnesio presentes en el agua, este equipo realiza el intercambio en un tiempo definido y por medios mecánicos, químicos y electrónicos previniendo así las incrustaciones en las tuberías.

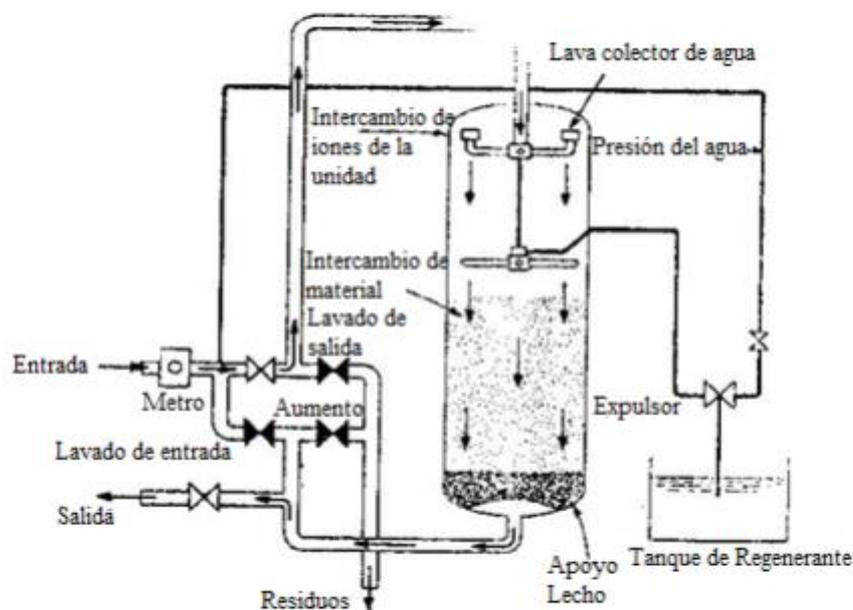
### 2.7.5. Intercambio Iónico

Es una operación utilizada para el ablandamiento o desmineralización del agua, este proceso remueve del agua cruda los iones no deseables mediante la transferencia de uno o más iones a un

material sólido los cuales son reemplazados con iones deseables (Cervantes, 2015, p. 12). Es una reacción química de doble descomposición la cual se da entre una solución diluida y un polímero poroso en forma de círculos diminutos siendo competentes de intercambiar iones por otros a través de ellos (Colcha, 2013, p. 66).

Su objetivo principal es el de eliminar la dureza ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) del agua por medio del uso de resina catiónica que está formada por cationes de sodio, siendo esta intercambiada por los iones de calcio  $\text{Ca}^{+2}$  y magnesio  $\text{Mg}^{+2}$ , entonces el agua atraviesa por la resina la cual capta el  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  hasta que la resina se sature y es ahí donde se realiza la regeneración de la misma con sodio, para nuevamente iniciar el proceso de intercambio iónico permitiendo así suavizar el agua y que tenga un tratamiento adecuado para uso de los equipos industriales (Guamán, 2011, p. 57; Meza & Pérez, 2011, p. 5).

A continuación, se presenta un esquema de cómo sería un intercambiador iónico.



**Ilustración 9-2:** Esquema de un equipo de ablandamiento por intercambio iónico.

Fuente: (Martínez & Idrobo, 2012, p. 38).

#### 2.7.5.1. Componentes que afectan el intercambio iónico

Dentro de las operaciones de intercambio iónico existen diversos factores que se van a mencionar a continuación:

- Canalizaciones en los lechos de resinas.
- Excesiva presencia de cloro en el agua.

- Utilización de regenerante de mala calidad el cual puede llenar de impurezas a las resinas obstruyendo así la eficiencia del intercambio iónico.
- Así mismo las variaciones en la calidad del agua.
- Concentración de la solución regenerante.
- Velocidad del agua a tratar al atravesar las resinas (Meza & Pérez, 2011, p. 11).

### **2.7.6. Etapas del proceso de intercambio iónico en la columna**

#### *2.7.6.1. Empaquetamiento de la columna*

Para el empaquetamiento de la columna como primer paso se efectúa un lavado con agua destilada en el intercambiador iónico para así eliminar las impurezas y el hinchamiento, luego se procede a introducir la resina que será usada para el ablandamiento en el interior de la columna y para tener un lecho uniforme es necesario evitar las bolsas de aire que se crean entre las partículas (Condori et al., 2017, pp. 38–40).

#### *2.7.6.2. Acondicionamiento del intercambiador*

Para esta etapa a la resina se le da el respectivo acondicionamiento, siempre y cuando la resina comercial no sea la adecuada para usarse en el tratamiento a realizarse, es decir, se debe cambiar el contraión de la resina que tiene por la que requiera el proceso, esto se lo hace mediante una solución concentrada del ión que se anhela tener y así la resina se pone en contacto con dicha solución donde el exceso de la solución se lo retira con agua destilada estando así lista para emplearse (Condori et al., 2017, pp. 38–40).

#### *2.7.6.3. Etapa de carga*

Aquí se realiza en sí el intercambio de los iones de calcio y magnesio del agua por los de sodio que tiene la resina, el fluido que es el agua se introduce en la columna del intercambiador y este circula de manera gradual por medio de la resina, hay que tener en cuenta que la velocidad de flujo y el pH de la disolución, siempre se basará del tipo de resina que se utilice teniendo con ello el mejor rendimiento sobre la selectividad y capacidad de la misma (Condori et al., 2017, pp. 38–40). Al saber que la resina está saturada con los iones de la dureza existe una mayor concentración de los iones que salen de la disolución y es por ello que al ser iguales las concentraciones tanto de entrada como de salida de los iones de la solución, indica que la resina está agotada y necesita de una regeneración para nuevamente cumplir con la capacidad de intercambio (Condori et al., 2017, pp. 38–40).

#### 2.7.6.4. Etapa de regeneración

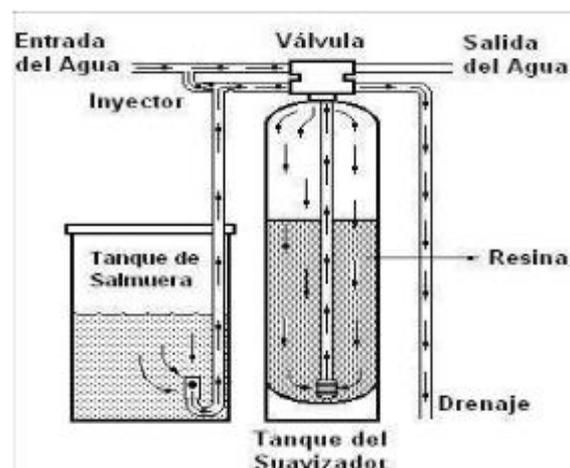
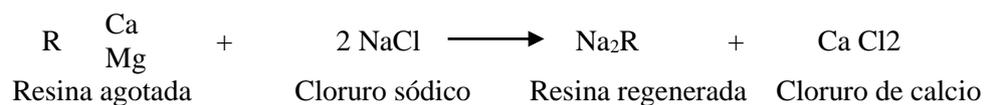
Una vez que se haya cumplido el proceso de intercambio y que la resina se encuentre completamente saturada por las sales de calcio y magnesio que se ha eliminado del agua tratada, es inevitable realizar el proceso de la regeneración el cual consiste en devolver a la resina el poder de intercambiar los iones de sodio de la solución regenerante (Meza & Pérez, 2011, p. 9).

Es decir, se efectúa haciendo pasar la solución concentrada de sodio, donde se deposita la resina en la solución donde expulsa los iones atraídos durante el agotamiento (Ca y Mg), es así como se utiliza:

- **Sal común:** Sirve para restablecer las resinas catiónicas de tipo ácido fuerte.
- **Ácido clorhídrico o ácido sulfúrico:** Sirven para restaurar resinas catiónicas de ácidos fuertes y débiles aquí depende bastante del costo y eficiencia.
- **Hidróxido de sodio o hidróxido de amonio:** Regeneran resinas de tipo aniónicas de bases fuertes y débiles (Colcha, 2013, p. 78).

El mejor método para que se tenga una buena regeneración es el flujo inverso, es decir, la solución ingresará a la columna del ablandador de forma opuesta a como ingrese el agua a tratarse es por ellos necesario mencionar algunos factores que varían dependiendo el tipo de resina y producto químico regenerante con que se trabaje además de la calidad de agua y eficiencia del equipo estos factores son: la concentración y tiempo de contacto, la cantidad de regenerante a utilizar y la temperatura (Cervantes, 2015, p. 40).

La reacción para la regeneración es la siguiente:



**Ilustración 10-2:** Ciclo de regeneración de la resina.

**Fuente:** (Condori et al., 2017, pp. 41–42)

Se considera que para desechar la resina a esta se le puede hacer muchas regeneraciones ya que su vida útil esta aproximadamente en 20 años, pero se debe tener mucho cuidado que hacer pasar a través de ella partículas suspendidas lleva a dañarla tapando los orificios de la resina y así no tendrá un 100% de eficiencia (Martínez & Idrobo, 2012, p. 138).

Para que esta etapa cumpla con la mejor eficiencia se desarrollan las operaciones siguientes:

- **Retro lavado**

Colcha, (2013, p. 106) menciona que el primer paso dentro de la regeneración es el retro lavado teniendo como objetivo la redistribución del lecho evitando así que esta se compacte, por ende menora la eficiencia y capacidad del filtro, esta operación de retrolavado consiste en hacer transitar de abajo hacia arriba el agua de alimentación que ingresa al ablandador, empleando así una operación contraria a como se efectúa el intercambio iónico, la salida del agua del retro lavado se lo efectúa por la parte de arriba o superior de la columna de ablandamiento.

- **Salado**

Una vez que se haya realizado el retro lavado, se hace pasar una disolución de sal (salmuera) por medio de la cama o lecho de resina, se lo realiza de arriba hacia abajo, para ello se emplea una cantidad aproximadamente de 180 g de sal (NaCl) por cada litro de resina, teniendo un estimado de 3 Kg de NaCl por cada pie cúbico de resina que tenga la columna del ablandamiento, la salida de esta solución se efectúa por la parte inferior de la columna y es desechada al desagüe (Colcha, 2013, p. 106). Al ejecutar esta operación cumple así con la regeneración de la resina permitiéndole estar en las condiciones óptimas para nuevamente seguir con el intercambio iónico y así eliminar la dureza del agua (Colcha, 2013, p. 106).

- **Lavado**

La finalidad de este último proceso es la de descartar en totalidad la solución prepara de sal y para ello se hace circular de arriba hacia abajo el agua que es para el tratamiento como si estuviera en operación normal del ablandador, es necesario tomar en cuenta que cuando el agua que está fluyendo ya no sabe a salado indica que el proceso culmina y es desechada hacia el drenaje, dejando a la resina lista para realizar la operación normal del ablandamiento (Colcha, 2013, p. 106).

### 2.7.7. Resinas de Intercambio Iónico

Las resinas son sustancias pequeñas esféricas con diámetro de 0.3 a 1.2 mm, son sólidos insolubles en agua y usualmente se constituyen de una matriz de polímero en la que están enlazados con una elevada concentración de grupos de cargas polares, ácidos o básicos (Cervantes, 2015, p. 27). Existe la principal ventaja al utilizar las resinas ya que estas permiten recuperar su capacidad de intercambio original con ayuda de un tratamiento utilizando una solución regenerante la cual puede ser ácido, una base o en su mayoría el empleo de una sal (Martínez & Idrobo, 2012, p. 47).

Para el ablandamiento químico del agua es mejor usar lechos de resina catiónica de ácido fuerte (RCF) ya que manipulan con un extenso rango de pH y es por eso que las resinas que tienen espacios de cargas negativas, se consideran intercambiadores catiónicos porque agarran iones cargados positivamente; por el contrario, al poseer sitios con cargas positivas son intercambiadores aniónicos puesto que detienen iones cargados negativamente (Donoso, 2013, pp. 33–34).



**Ilustración 11-2:** Esferas de resina para el ablandamiento químico.

**Fuente:** (Cervantes, 2015, p. 27).

#### 2.7.7.1. Tipos de Resinas de Intercambio Iónico

En la actualidad las resinas que se utilizan son de tipo sintético y son fabricadas mediante un proceso de polimerización basadas en un copolímero de estireno y divinilbenceno (DVB) permitiendo así adicionarle los grupos funcionales. Las resinas catiónicas se obtienen mediante una sulfonación mientras que por medio de una aminación se tienen las resinas aniónicas (Donoso, 2013, p. 34).

Estas resinas según su grupo funcional son las siguientes:

- **Resinas catiónicas de ácido fuerte (RCF)**

Son destinadas para aplicaciones de ablandamiento de agua caracterizándose por intercambiar o eliminar todos los iones positivos (cationes) contenidos en agua, estas resinas funcionan en soluciones con cualquier pH teniendo una velocidad de intercambio rápida, su durabilidad alcanza aproximadamente 10 años (Cervantes, 2015, p. 29).

Es así que las resinas catiónicas de sodio por medio de intercambio iónico eliminan la dureza que tiene el agua intercambiando los iones de sodio por los de calcio y magnesio, una vez realizado el proceso se regenera la resina con una alta concentración de cloruro de sodio (NaCl) donde la resina produce una reacción de ion cloruro con el calcio mientras que la resina se regenera con el sodio estando lista para un próximo ciclo (Donoso, 2013, pp. 34-35).

- **Resinas catiónicas de ácidos débiles (RCD)**

Son resinas muy eficientes que se limitan al tener menor capacidad de intercambio por lo que no trabajan adecuadamente con soluciones que tengan pH bajos, dominante hinchamiento y contracción aumentando así las pérdidas de carga y fracturas en la columna al no contar con un área adecuada. Estas resinas requieren menos ácido para su regeneración, sin embargo, trabajan a flujos mínimos que las de ácido fuerte, entonces para el tratamiento de agua por el proceso de ablandamiento químico se utilizan tanto las resinas catiónicas fuertes como débiles (Cervantes, 2015, p. 30).

- **Resinas aniónicas de bases fuertes (RAF)**

Se obtienen mediante una reacción de copolímeros de estireno-divinilbenceno clorometilados con aminas terciarias que se caracterizan por intercambiar iones negativos (aniones) (Cervantes, 2015, p. 30). En el suavizado de agua esta es empleada en la segunda columna de desionización para lechos mixtos, elimina así los aniones débiles que tengan bajas concentraciones como son los carbonatos o silicatos, para su regeneración necesita grandes cantidades de regenerante comúnmente la sosa (hidróxido de sodio NaOH) (Cervantes, 2015, p. 30).

- **Resinas aniónicas de base débil (RAD)**

Este tipo de resina es muy eficaz por lo que demanda de una cantidad mínima de sosa para su regeneración, existe condiciones en las que no pueden ser empleadas como es en soluciones a pH elevados; en el que logran resistir problemas de oxidación o envenenamiento, lo aconsejable es que se utilicen en aguas con altas concentraciones de sulfatos o cloruros, eliminando gran eficacia

los aniones de los ácidos fuertes, como, nitratos, sulfatos y cloruros, pero no eliminan los aniones débiles del ácido carbónico y silícico (Cervantes, 2015, p. 31).

## 2.8. Serie de actividad de los metales

Dentro del intercambio iónico es importante preguntarse por qué el sodio y el magnesio desplazan al hidrogeno y esto se debe a la serie de actividad de los metales.

La serie de actividad de los metales es un tipo de reacciones de oxidación-reducción caracterizadas porque una sustancia en su forma elemental “desplaza” a otra en su forma iónica dentro de un compuesto o una disolución (Alvarado, 2010, pp. 2-4). Existe una lista en la que los metales están ordenados de mayor a menor por su poder reductor. Es una lista en la que los metales aparecen ordenados de mayor a menor por su poder reductor, es decir está ordenado de acuerdo con su capacidad para desplazar al hidrogeno de un ácido o del agua (Condori, et al, 2017, p. 5).

Su característica principal es la de que todos los metales que están por encima del hidrógeno lo desplazan de sus combinaciones, los que están por debajo de él no lo desplazan y los metales entre si se desplazan unos a otros en forma descendente. El litio es el metal más reactivo y el oro es el metal menos reactivo (Alvarado, 2010, p. 6).

Una tabla vertical que muestra la serie de actividad de los metales. A la izquierda, una columna lista los metales en orden descendente de reactividad: Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, Au. A la derecha, tres columnas de texto describen las capacidades de desplazamiento de los metales superiores: 'Desplazan el hidrógeno de los ácidos' (aplicable a Li-Pb), 'Desplazan el hidrógeno del vapor de agua' (aplicable a Li-Cu) y 'Desplazan el hidrógeno del agua fría' (aplicable a Li-Mg). Líneas horizontales conectan los metales con sus respectivas descripciones de desplazamiento.

Li	Desplazan el hidrógeno de los ácidos	Desplazan el hidrógeno del vapor de agua	Desplazan el hidrógeno del agua fría
K			
Ba			
Ca			
Na			
Mg			
Al			
Zn			
Cr			
Fe			
Cd			
Co			
Ni			
Sn			
Pb			
H			
Cu			
Hg			
Ag			
Pt			
Au			

**Ilustración 12-2:** Tabla de la serie de los metales ordenados de mayor a menor reactividad.

Fuente: (Alvarado 2010, p. 6).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de trabajo

El trabajo se desarrolló para cubrir las necesidades que tienen los equipos del laboratorio, por tal razón se empleó una de investigación experimental e inductivo, mediante una caracterización físico - química del agua que será de sustento para los equipos, con la finalidad de diagnosticar cual sería el estado actual de la misma para cumplir con el objetivo de adecuarla a ser apta para el consumo industrial de los equipos, así mismo se basó en la confiabilidad de los resultados con una adecuada selección de los métodos, donde se tendrá un alcance máximo de un trabajo explicativo y un enfoque cuantitativo del mismo mediante la observación, medición y experimentación.

#### 3.2. Metodología

El análisis de los parámetros físico- químicos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Agua - Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, permitiendo utilizar diferentes técnicas, métodos e instrumentos para el desarrollo de cada uno de los procedimientos basándose en la Norma Británica BS 2486-1997 y en la norma ASME.

#### 3.3. Recolección y toma de muestras

Para el muestreo se basó en el método normalizado 1060 A y B del libro “Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales” el cual menciona:

- Es necesario el uso de botellas de plástico de 1.5 a 2 L, con el fin de llevar a cabo el análisis físico - químico completo.
- La muestra que se desea analizar siempre se recolecta de la fuente que se requiera examinar.
- Es necesario dejar correr el agua problema por 1 minuto cuando esta se recolecta directamente de las llaves de agua potable y así tomarla en su respectivo frasco debidamente etiquetado.
- En el instante que se recolectó la muestra problema se efectúa las siguientes pruebas como es el pH, y la temperatura ambiental (APHA, AWWA & WPCF, 1992, pp. 33–39).

### **3.4. Tratamiento de las muestras**

Las muestras de agua que fueron recolectadas se les realizó la caracterización fisicoquímica correspondientes:

- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Dureza
- Solidos Disueltos Totales
- Turbiedad
- Alcalinidad
- Hierro
- Sílice
- Fosfatos
- Oxígeno disuelto
- Índice de Langelier

### **3.5. Métodos y técnicas**

#### **3.5.1. Métodos**

Se utilizaron métodos que fueron adaptados al libro del manual “Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales” APHA, AWWA, WPCF, 17 edición, que por medio de la observación permitió tener la recolección de datos y realizar su debida experimentación.

#### **3.5.2. Técnicas para los análisis físicos**

##### **3.5.2.1. Potencial de hidrogeno (pH)**

El pH indica que tan acida o alcalina está el agua, si el agua tiene un pH mayor a 7 es alcalina, si es menor es considerada básica y si es igual a 7 es neutra por lo que tiene un rango de 1 a 14. Para su medición se lo realiza mediante el pHmetro, colorímetro con indicador universal y los indicadores de pH, se basó en el método electrométrico 2310 A y B.

#### *3.5.2.2. Temperatura*

Es considerada como la dimensión que calcula el estado térmico de un régimen termodinámico que está en equilibrio, es así que se recomienda tomar la medida de la temperatura exactamente en el instante en que se realiza la recolección de la muestra a analizar. Se utilizó el método estandarizado 2550 B.

#### *3.5.2.3. Turbidez*

Este método es adaptable para todo tipo de agua ya sean aguas crudas, de proceso, residuales o naturales, este parámetro se debe a la presencia de materia suspendida y coloidal que tiene el agua por ello se utilizó el turbidímetro para medir su valor ofreciendo así una lectura directa en unidades (UNT). Para la medición de la turbiedad se basó en el método 2130 A y B Nefelométrico.

#### *3.5.2.4. Sólidos disueltos totales*

Para calcular es necesario tener en cuenta la acumulación de las concentraciones catiónicas como aniónicas que se encuentran directamente en el agua, entonces se define que los sólidos totales son el conjunto de material disuelto en un volumen de agua. Para este parámetro se basó en el método electrométrico 2540 C.

#### *3.5.2.5. Conductividad.*

Es la cualidad que posee una sustancia para conducir corriente eléctrica, siendo el movimiento de carga por iones en solución, donde dicha cualidad está asociada de la coexistencia de iones y a su vez de la conglomeración total, también depende de su movimiento y de sus concentraciones relativas. Se basó en el método electrométrico 2510 B.

#### *3.5.2.6. Índice de estabilidad.*

Este factor es indispensable en la calidad de agua ya que al conocer los parámetros como es la temperatura, pH, alcalinidad y dureza del agua, se permite determinar cuál es la tendencia que tiene el agua es decir si es incrustante o corrosiva. El índice más utilizado es el de Langelier fundamentándose en el grado de saturación del carbonato de calcio que posee el agua.

Para determinar en sí, el grado de estabilidad del agua es necesario realizar el cálculo correspondiente con las fórmulas que se encuentran descritas en el capítulo II del índice de Langelier.

### ***3.5.3. Técnica para los análisis químicos***

Estos análisis permiten determinar la calidad del agua, conocer si el agua es apta o no para ser usada dentro de la industria en este caso para el uso del laboratorio de procesos industriales para los equipos de este.

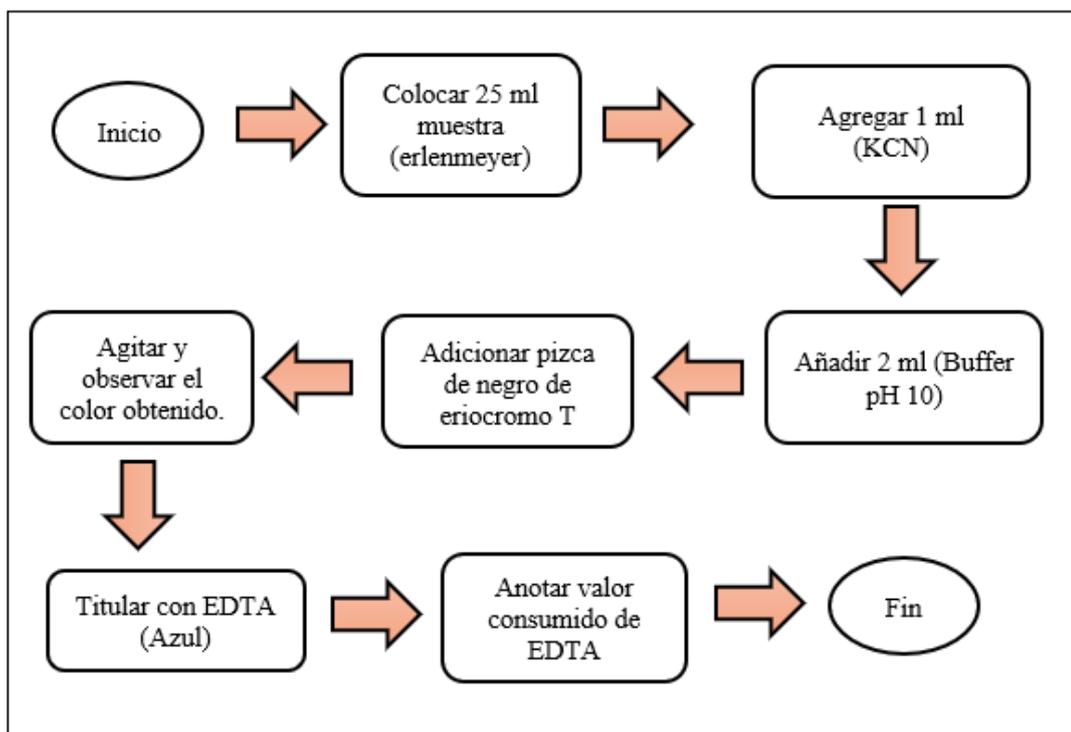
#### ***3.5.3.1. Dureza***

Existe dos tipos de durezas como la temporal que se debe a los bicarbonatos y carbonatos de magnesio y calcio la cual se puede eliminar por ebullición esterilizando el agua a su vez. La dureza permanente que está constituida por sales neutras de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , necesita de un tratamiento más complejo como el ablandamiento por carbonato de sodio y cal, el intercambio iónico por resinas permite ablandar el agua mediante el intercambio de iones de calcio y magnesio por los iones de sodio dando como resultado agua apta para el consumo industrial.

**Tabla 1-3:** Técnica para determinar la dureza del agua.

Método	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Fórmula
Método Volumétrico 2340 B y C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erlenmeyer</li> <li>Bureta</li> <li>Pipeta de 10 ml</li> <li>Vaso de precipitación</li> <li>Espátula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua destilada</li> <li>Buffer pH 10</li> <li>Cianuro de potasio (KCN) 1N</li> <li>Negro de eriocromo T</li> <li>Solución EDTA (0.02M)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tomar 25 ml de muestra y colocarla en el erlenmeyer.</li> <li>Agregar 1ml de KCN y agitar despacio.</li> <li>Luego añadir 2 ml de buffer pH 10 que es la solución amortiguadora.</li> <li>Adicionar una pisco del indicador negro de eriocromo T con ayuda de la espátula.</li> <li>Agitar lentamente y observar que tiene un color rojizo.</li> <li>Finalmente, titular lentamente el EDTA hasta obtener un viraje de color azul.</li> <li>Anotar el valor del de EDTA consumido al cambiar el color para luego hacer el cálculo correspondiente.</li> </ul>	$[CaCO_3] = \frac{V_1 * [M] * 10^5}{V_2}$ <p>Donde:                      [CaCO<sub>3</sub>] = Concentración de carbonato de calcio en ppm (mg/L).                      V1 = Volumen consumido de EDTA.                      V2= Volumen de la muestra de agua.                      [M] =Molaridad de EDTA.</p>

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.



**Ilustración 1-3:** Procedimiento para determinar la dureza del agua.

**Realizado por:** Cabrera, Diana, 2022.

### 3.5.3.2. Calcio

El calcio y magnesio son las sales más frecuentes para producir la dureza, afectando principalmente a equipos con las propiedades incrustantes o corrosivas del agua. Para un mejor control el método titulométrico de EDTA es el más simplificado y rápido.

Cuando el pH es muy alto cuantificado directamente con EDTA el magnesio precipita como hidróxido, entonces, se utiliza murexita para que cambie de color rosa a púrpura en el punto final formando un complejo con EDTA.

**Tabla 2-3:** Técnica para la determinación de la concentración de calcio en el agua.

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Fórmula
Método Volumétrico 3500 Ca E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matraz erlenmeyer.</li> <li>• Bureta</li> <li>• Pipetas aforadas.</li> <li>• Pipetas volumétricas.</li> <li>• Matraz aforado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Murexita</li> <li>• Solución EDTA (0.02M)</li> <li>• Solución buffer pH 10.</li> <li>• Negro de eriocromo.</li> <li>• Agua destilada.</li> </ul>	<p><b>Titulación de la dureza</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 10 ml de solución estándar de calcio y diluir en 50 ml en el matraz erlenmeyer.</li> <li>• Añadir 1 ml de solución buffer pH 10.</li> <li>• Agregar una pizca de indicador negro de eriocromo-T.</li> <li>• Titular con solución de EDTA lentamente, agitando hasta que cambie de rosa a azul.</li> </ul> <p><b>Titulación de la muestra de calcio.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poner en el erlenmeyer 25 ml de muestra</li> <li>• Añadir 1 ml de KCN a 1 N</li> <li>• Adicionar 1 o 2 ml de solución NaOH 1 N, el pH deberá estar entre 12 y 13.</li> <li>• Agregar una pizca del indicador de murexita.</li> <li>• Titular con solución de EDTA inmediatamente después de agregar el reactivo indicador y agitar continuamente hasta viraje de color de la solución de rosado a lila.</li> <li>• Luego del punto final agregar 1 o 2 gotas más de solución de EDTA para verificar que el color no cambia.</li> </ul>	$[Ca^{+2}] = \frac{V_2 * [M] * 40000}{V}$ <p>Donde:  <math>[Ca^{+2}]</math> = Concentración de calcio en ppm  <math>V_2</math> = Volumen consumido de EDTA.  <math>V</math> = Volumen de la muestra de agua.  <math>[M]</math> = Molaridad de EDTA.</p>

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022

### 3.5.3.3. Alcalinidad.

Este parámetro tiene la capacidad de neutralizar los ácidos y es determinado por medio de titulación con ayuda de una solución estándar, aquí se utiliza el indicador anaranjado de metilo permitiendo así cuantificar la alcalinidad total.

**Tabla 3-3:** Técnica para la medición del cálculo de la alcalinidad del agua.

Método	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Fórmula
Método Volumétrico 2320 A y B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matraz erlenmeyer</li> <li>• Pipeta aforada</li> <li>• Vaso de precipitación (250 ml)</li> <li>• Fenolftaleína</li> <li>• Naranja de metilo</li> <li>• Ácido sulfúrico 0.05 N</li> <li>• Muestra problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar 25 ml de la muestra problema en el matraz erlenmeyer.</li> <li>• Agregar 2 gotas de fenolftaleína si el agua se hace rosada titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta que se haga incoloro (pH=6,1).</li> <li>• Añadir 3 gotas de naranja de metilo.</li> <li>• Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.05 N hasta que se vuelva rosado y tenga un pH=8.</li> </ul>	$\text{Alcalinidad} = \frac{V_1 * N * 50000}{V_2}$ <p>Donde:  V<sub>1</sub> = ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumido.  N= Normalidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.  V<sub>2</sub> = Volumen de la muestra de agua.</p>

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

### 3.5.3.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto por su carácter oxidante es importante en la calidad del agua ya que se la realiza por medio de la precipitación de iones. Se utiliza un método volumétrico siendo así una titulación indirecta, este parámetro provoca en los equipos la corrosión de los metales por lo que es conveniente mantenerlo dentro de la norma.

**Tabla 4-3:** Técnica para la medición del oxígeno presente en el agua.

Método	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Fórmula
Método Volumétrico 4500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matraz erlenmeyer</li> <li>• Pipeta aforada</li> <li>• Vaso de precipitación (250 ml)</li> <li>• Ácida sódica</li> <li>• Solución oxidada de sulfato manganoso.</li> <li>• Tiosulfato de sodio (0.025N)</li> <li>• Ácido sulfúrico concentrado.</li> <li>• Almidón</li> <li>• Muestra problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar 300 ml de la muestra problema en un frasco para oxígeno y tapar sin que burbujee.</li> <li>• Agregar 1 ml sin tocar el agua de la solución oxidada.</li> <li>• Añadir 2 ml de acida sódica precipitando la solución de un color café.</li> <li>• Llenar en la bureta con 25 ml de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para la titulación.</li> <li>• Titular con Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.025N hasta que se vuelva amarillo pálido.</li> <li>• Agregar a la solución 0.5 ml de almidón tornando de amarillo pálido a azul.</li> <li>• Finalmente, titular hasta que se vuelva incoloro.</li> <li>• Anotar el valor consumido del titulante.</li> </ul>	$O_2 = \frac{V_1 * N * 8 * 1000}{V_2}$ <p>Donde:  V1 = ml de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> consumido.  N= Normalidad de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  V2 = Volumen de la muestra de agua.</p>

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

### 3.5.3.5. Sílice

Para aguas subterráneas la procedencia de sílice es del cuarzo y de rocas ígneas, es por eso que la presencia del mismo provoca la formación de placas de silicatos en el equipo, para eliminar este parámetro es necesario el uso de resinas intercambiadoras.

**Tabla 5-3:** Técnica para la medición de sílice presente en el agua.

Método	Materiales y Reactivos	Procedimiento
<p>Método</p> <p>Espectrofotómetro</p> <p>4500 C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro</li> <li>• Vario sílica HR Molybdate</li> <li>• Vario sílica HR Acid RGT</li> <li>• Vario sílica Citric Acid</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar 10 ml de la muestra problema en la celda.</li> <li>• Agregar el sobre del reactivo vario sílica HR Molybdate y agitar por un minuto.</li> <li>• Luego se añade el segundo reactivo de HR Acid RGT y agitar tomando la muestra de color amarillo pálido y esperar por 10 minutos.</li> <li>• Adicionar el tercer reactivo Citric Acid, agitar y esperar por 2 minutos.</li> <li>• Leer en el equipo el blanco que es 10 ml de agua destilada.</li> <li>• Insertar la celda con el agua problema en el equipo para que realice la respectiva lectura.</li> <li>• Anotar e valor dado.</li> </ul>

**Realizado por:** Cabrera, Diana, 2022.

### 3.5.3.6. Hierro

Las muestras de agua que tenga una cantidad de hierro mayor a 1 mg/l provocan corrosión en tuberías ya que este elemento genera la formación de lodos, algunas veces también se forma el óxido de hierro por el desprendimiento de herrumbre de las tuberías es por eso que se debe mantener este parámetro dentro de la norma establecida.

**Tabla 6-3:** Técnica para la medición del hierro presente en el agua.

Método	Materiales y Reactivos	Procedimiento
Método Espectrofotómetro 3500 B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro</li> <li>• Ferrover.</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar 10 ml de la muestra problema en la celda.</li> <li>• Agregar el sobre del reactivo ferrover y agitar por un minuto.</li> <li>• Esperar 2 minutos de reacción.</li> <li>• Leer en el equipo al blanco que es 10 ml de agua destilada.</li> <li>• Insertar la celda con el agua problema en el equipo para que realice la respectiva lectura.</li> </ul>

Elaborado por: Cabrera, Diana, 2022.

### 3.6. Datos experimentales

#### 3.6.1. Caracterización del agua

Las muestras de agua se recolectaron de las llaves principales del laboratorio de procesos industriales la cual provienen de pozo, a esta se le realizó la caracterización inicial de los parámetros a estudiar los cuales se analizó en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias.

**Tabla 7-3:** Datos de la caracterización fisicoquímica inicial del agua de pozo.

Parámetros	Unidad	Primera muestra	Segunda muestra	Promedio	Norma
pH	-----	8,30	8,25	8,28	8,5-9,5
Conductividad	us/cm	1114	1110	1112	<3500
Turbiedad	NTU	0,59	0,67	0,63	<5
STD (Solidos disueltos)	mg/l	677,4	675,3	676,35	< 3500
Dureza	mg/l	644	656	650	<0,2
Alcalinidad	mg/l	420	415	417,5	< 700
Cobre	mg/l	0,03	0,03	0,03	<0,05

Sílice	mg/l	59,8	60,3	60,05	<150
Oxígeno	mg/l	7,97	6,86	7,14	<0,05
Hierro	mg/l	0,08	0,06	0,07	<0,1

**Fuente:** Datos obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias.

**Realizado por:** Cabrera, Diana, 2022.

### 3.7. Cálculos y dimensionamiento

#### 3.7.1. Cálculos experimentales del agua

##### 3.7.1.1. Determinación de índice de estabilidad del agua.

- **Cálculo del índice de Langelier**

$$I_L = \text{pH} - \text{pH}_s$$

(Ec. 1-3)

Para encontrar el pHs de saturación es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

(Ec. 2-3)

- *Cálculo del valor de A*

$$A = \frac{(\text{Log}_{10} [\text{STD}] - 1)}{10}$$

$$A = \frac{(\text{Log}_{10} [676.35] - 1)}{10} = 0.183$$

- *Cálculo del valor de B*

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (°C + 273) + 34.55$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (15 + 273) + 34.55$$

$$B = 2.282$$

- *Cálculo del valor de C*

$$C = \text{Log}_{10} [Ca^2] - 0.4$$

$$C = \text{Log}_{10} [89.6] - 0.4$$

$$C = 1.552$$

- *Cálculo del valor de D*

$$D = \text{Log}_{10} [\text{alcalinidad como CaCO}_3]$$

$$D = \text{Log}_{10} [417.5]$$

$$D = 2.620$$

Reemplazar los valores obtenidos en la Ec 2-3

$$pH_s = (9.3 + 0.183 + 2.282) - (1.552 + 2.620)$$

$$pH_s = 7.59$$

Entonces el índice de Langelier es de:

$$I_L = 8.28 - 7.59$$

$$I_L = 0.69$$

Como resultado el índice de Langelier es  $> 0$  se concluye que el agua es incrustante y está sobresaturada de carbonatos de calcio.

### 3.7.1.2. Determinación de la dureza

Para la determinación de la dureza se aplicó la siguiente fórmula:

$$[\text{CaCO}_3] = \frac{V_1 * [M] * 10^5}{V_2}$$

**(Ec. 3-3)**

Donde:

$V_1$ = Volumen EDTA consumido

$M$ = Molaridad de EDTA (0.02M)

$V_2$ = Volumen de la muestra (ml)

- **Cálculo para el agua antes del tratamiento:**

$$[CaCO_3] = \frac{8.02 \text{ ml} * 0.02 * 10^5}{25 \text{ ml}}$$

$$[CaCO_3] = 644 \text{ mg/l}$$

La dureza promedio de las 2 muestras es de:

$$[CaCO_3] = \frac{644 + 656}{2} = 650 \text{ mg/l}$$

- **Cálculo de la dureza después del ablandamiento del agua:**

$$[CaCO_3] = \frac{0.01 \text{ ml} * 0.02 * 10^5}{25 \text{ ml}}$$

$$[CaCO_3] = 0.08 \text{ mg/l}$$

La dureza promedio de las 2 muestras es de:

$$[CaCO_3] = \frac{0.08 + 0.07}{2} = 0.07 \text{ mg/l}$$

$$[CaCO_3] \approx 0 \text{ mg/l}$$

El agua ablandada dio como resultado una dureza de 0 ppm lo que se comprueba que el sistema de ablandamiento si funcionó y está apta para ser empleada en los equipos del laboratorio.

### 3.7.1.3. Determinación de la dureza inicial del agua en granos por galón (gpg)

Para establecer el tamaño del ablandador es necesario expresar la dureza en gpg, es por ello que se utiliza la siguiente relación para convertir la dureza de ppm a gpg:

$$1 \text{ grano } CaCO_3 = \frac{1 \text{ grano}}{7000 \text{ libra}} = 0.0001428 \text{ libras}$$

$$1 \text{ galón} = 8.33 \text{ libras}$$

$$1 \frac{\text{grano}}{\text{galón}} = \frac{0.0001428 * 1000000}{8.33} = 17.1 \text{ gpg CaCO}_3$$

Dividiendo la dureza para el factor de 17.1 se obtiene:

$$\text{Dureza promedio en gpg} = \frac{650 \text{ ppm}}{17.1} = 38.01 \text{ gpg}$$

Este cálculo nos da a conocer la cantidad de granos de dureza que tiene un galón de agua cruda considerando que 1 grano = 0.065 gramos (Martínez & Idrobo, 2012, p. 138).

#### 3.7.1.4. Determinación de la alimentación de agua máxima a la caldera

La caldera cumple con una capacidad de 2 BHP, siendo estos caballos de vapor, para determinar cuál sería su cantidad de alimentación se lo realiza por la siguiente formula:

$$\text{Agua de alimentación} = \text{BHP} * 4.25 \text{ ghp}$$

$$\text{Agua de alimentación} = 2 * 4.25 \text{ ghp}$$

$$\text{Agua de alimentación} = 8.5 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 5 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

$$\text{Agua de alimentación} = 42.5 \frac{\text{gal}}{\text{día}} * 3.785 \frac{\text{l}}{1 \text{gal}}$$

$$\text{Agua de alimentación} = 160.86 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Además, se considera la cantidad de agua de alimentación que ingresa a los otros equipos del laboratorio se describe a continuación:

- Sistema de enfriamiento grande = 24 l/día = 120 l/semana
- Sistema de enfriamiento pequeño = 12 l/día = 60 l/semana
- Chaquetas = 8 l/día = 40 l/semana
- Línea de cerveza = 16 l/día = 80 l/semana

Entonces se tiene un total de agua de alimentación a los equipos del laboratorio de:

$$\text{Agua de alimentación a los equipos} = 160,86 + 24 + 12 + 8 + 16 \frac{l}{\text{día}}$$

$$\text{Agua de alimentación a los equipos} = 220,86 \frac{l}{\text{día}} = 58,35 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

### 3.7.1.5. Determinación de los granos de dureza totales a remover por día

$$\text{Agua de alimentación} = 58,35 \text{ gal } H_2O/\text{día}$$

$$\text{Dureza del agua (Promedio)} = 38,01 \text{ gpg}$$

$$\text{Granos de dureza total} = 58,35 \frac{\text{gal}}{\text{día}} * 38,01 \frac{\text{granos}}{\text{gal}}$$

$$\text{Granos de dureza total} = 2217,88 \frac{\text{granos}}{\text{día}}$$

Se menciona que cuando el ablandador es de un 1 ft<sup>3</sup> tiene una capacidad de remover 25000 granos de dureza, pero como el equipo de ablandamiento utilizado es de 2 ft<sup>3</sup> tiene una capacidad de 50000 granos de dureza por remover.

**Tabla 8-3:** Cálculos para la capacidad y eliminación de la dureza por día.

Dureza inicial en ppm	Dureza en gpg	Capacidad del ablandador	Granos de dureza a eliminar por día
650 ppm	38,01 gpg	2 ft <sup>3</sup> = 50000	2217,88 granos/día

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

### 3.7.2. Análisis de las propiedades de la resina.

#### 3.7.2.1. Cálculo del peso específico (s)

$$s = \frac{P_m}{V_m}$$

(Ec. 4-3)

$P_m$  = Peso de la muestra

$V_m$  = Volumen de la muestra

Donde el volumen de la muestra se la representa como:

$$V_m = V_a - V_b$$

$V_a$  = Volumen de la muestra + agua

$V_b$  = Volumen de agua desplazada

Datos para el cálculo:

Peso de la probeta = 576 g

Peso de la probeta + muestra + agua = 901 g

Peso de la muestra + agua = 901 – 576 = 325 g

Peso de la muestra = 84,65 g

$$\text{Volumen del agua desplazada} = 325 - 84,65 = 240,35 \text{ ml}$$

El volumen de la muestra es:

$$V_m = 300 - 240,35 = 59,65 \text{ ml}$$

Se tiene un peso específico de:

$$s = \frac{84,65 \text{ g}}{59,65 \text{ ml}} = 1,42 \text{ g/ml}$$

### 3.7.2.2. Cálculo de la densidad real de la resina ( $\rho_r$ )

Para realizar el cálculo de la densidad real es necesario saber que es la relación entre la masa del material ablandante y el volumen de sólidos de los ablandantes.

$$\rho_r = \frac{P}{V_1 - (P_1 - P_2)}$$

(Ec. 5-3)

Donde:

P = Peso de la muestra

$V_1$  = Volumen del picnómetro en ml

$P_1$  = Peso del picnómetro con la muestra del ablandador y agua en gr.

$P_2$  = Peso del picnómetro con la muestra del ablandador

$$\rho_r = \frac{5 \text{ g}}{10 \text{ ml} - (32,665 - 26,975 \text{ g})}$$

$$\rho_r = 1.07 \text{ g/ml}$$

### 3.7.2.3. Cálculo del porcentaje de la porosidad (% $\epsilon$ )

Mediante este cálculo se determina cual es el espacio poroso que tiene la muestra del material ablandador

$$\% \epsilon = \frac{V_v}{V_m} * 100$$

(Ec. 6-3)

$V_v$  = Volumen de vacíos

$V_m$  = Volumen de la muestra

Para encontrar cual será el valor de volumen de vacíos se lo realiza mediante la diferencia del volumen medido del cilindro graduado menos el volumen que tiene la muestra.

Volumen total del lecho del tubo = 137,44 ml

Peso de la muestra = 84,65

Peso específico de la muestra = 1,42

$$V_m = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Peso específico de la muestra}}$$

$$V_m = \frac{84,65}{1,42} = 59,61 \text{ ml}$$

Volumen de vacíos = 137,44 ml – 59,61ml = 77,83 ml

$$\% \epsilon = \frac{77,83}{137,44} * 100 = 56,63 \%$$

### 3.7.2.4. Volumen de la resina catiónica requerida ( $V_r$ )

$$V_r = \frac{V_{H_2O} * \text{Dureza} \left( \frac{\text{g}}{\text{gal}} \right)}{C_A}$$

(Ec. 7-3)

Donde:

$V_{H_2O}$  = Volumen de agua (gal)

$C_A$  = Capacidad útil de intercambio (g/pie<sup>3</sup>)

$$V_r = \frac{(58.35 \text{ gal}) * 2.455 \left(\frac{g}{\text{gal}}\right)}{50000 \frac{g}{\text{ft}^3}}$$

$$V_r = 1.67 \text{ ft}^3 \approx 2 \text{ ft}^3$$

$$V_r = 0.056 \text{ m}^3$$

Por lo que es necesario tener un ablandador con una capacidad de 2 ft<sup>3</sup> para remover la dureza de 650 ppm, se necesita un tanque de salmuera de 100 L para la regeneración del sistema de ablandamiento.

### 3.8. Diseño del ablandador del agua para el tratamiento

#### 3.8.1. Cálculo para la columna de intercambio iónico para el laboratorio de procesos.

##### 3.8.1.1. Determinación del área del ablandador ( $A_c$ )

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

(Ec. 8-3)

Donde:

$A_c$  = Área del ablandador

D = Diámetro del ablandador

$$A_c = \frac{\pi(0.3)^2}{4}$$

$$A_c = 0.07 \text{ m}^2$$

##### 3.8.1.2. Cálculo de la altura del lecho ( $h_L$ )

$$h_L = \frac{V_r}{A_c}$$

(Ec. 9-3)

Dónde:

$V_r$  = Volumen de ingreso

$A_c$  = Área del ablandador

$$h_L = \frac{0.062 \text{ m}^3}{0.07 \text{ m}}$$

$$h_L = 0.88 \text{ m}$$

### 3.8.1.3. Cálculo del porcentaje de expansión máxima del ablandador

Para este cálculo se menciona que la expansión máxima por hinchazón es de 4 %

$$E_{max} = h_L * 0.04$$

(Ec. 10-3)

Dónde:

$E_{max}$  = Expansión máxima del ablandador

$h_L$  = Altura del lecho

$$E_{max} = 0.88 \text{ m} * 0.04$$

$$E_{max} = 0.35 \text{ m}$$

### 3.8.1.4. Cálculo de la altura del lecho hinchado

$$h_{lhi} = h_L + E_{max}$$

(Ec. 11-3)

Donde:

$h_{lhi}$  = Altura del lecho hinchado

$E_{max}$  = Expansión máxima del ablandador

$h_L$  = Altura del lecho

$$h_{lhi} = 0.88 \text{ m} + 0.035 \text{ m}$$

$$h_{lhi} = 0.915 \text{ m}$$

### 3.8.1.5. Cálculo de la fracción de lecho utilizado

$$X_L = \frac{C_R}{C_{tr}}$$

(Ec. 12-3)

Donde:

$X_L$  = Fracción del lecho utilizado

$C_R$  = Capacidad útil de la resina

$C_{tr}$  = Capacidad total de la resina

$$X_L = \frac{1,02 \frac{eq}{l}}{2 \frac{eq}{l}}$$

$$X_L = 0,51$$

### 3.8.1.6. Longitud del ablandador no utilizado ( $h_o$ )

$$h_o = h_{lhi} - X_L * h_{lhi}$$

(Ec. 13-3)

Donde:

$h_{lhi}$  = Altura del lecho hinchado

$X_L$  = Fracción del lecho utilizado

$$h_o = 0.915 - 0.52 * 0.915 \text{ m}$$

$$h_o = 0.448 \text{ m}$$

### 3.8.1.7. Cámara de expansión (freeboard)

Este cálculo sirve para saber cuál es la cantidad mínima de expansión que debe tener el ablandador, es decir se enfoca en el espacio que ocupa para realizarse correctamente el retrolavado de la resina. En bibliografía se menciona que se debe tomar una expansión de un 50 a un 75% de la altura del lecho para las resinas catiónicas, por lo que para este cálculo se tomara un valor de 60%

$$\% \text{ Expansión} = \frac{h_{lhi}}{h_a} * 100$$

(Ec. 14-3)

Donde:

$h_a$  = Altura del ablandador

$$h_a = \frac{0.915 \text{ m}}{70\%} * 100$$

$$h_a = 1.31 \text{ m}$$

Se reemplaza el valor de la altura del ablandador

$$C_{exp} = h_a - h_{lhi}$$

(Ec. 15-3)

Donde

$C_{exp}$  = Cámara de expansión

$h_a$  = Altura del ablandador

$h_{lhi}$  = altura del lecho hinchado

$$C_{exp} = 1.31 \text{ m} - 0.915 \text{ m}$$

$$C_{exp} = 0.40 \text{ m}$$

### 3.8.1.8. Altura de la columna cilíndrica ( $h_c$ )

$$h_c = h_{lhi} + c_{exp} + 0.3 \text{ m}$$

(Ec. 16-3)

Donde:

$h_c$  = Altura de la columna cilíndrica

$h_{lhi}$  = altura del lecho hinchado

$C_{exp}$  = Cámara de expansión

$$h_c = 0.915 \text{ m} + 0.40 \text{ m} + 0.3 \text{ m}$$

$$h_c = 1.60 \text{ m}$$

### 3.8.1.9. Capacidad promedio para la regeneración.

Existen 3 niveles para conocer cuál es la capacidad adecuada para los ablandadores, es por lo que para regenerar la resina con sal en grano se tiene las siguientes condiciones:

**Tabla 9-3:** Cantidad de sal y capacidad de la resina para ser regenerada en el equipo de ablandamiento.

Granos por Pie <sup>3</sup> de resina	Cantidad sal en grano para regeneración
28 000	12 libras
25 000	9 libras
20 000	6 libras

Fuente: (Abarca & Dummer 2016, p. 10).

El volumen de sal necesario para regenerar depende de la cantidad de resina que tiene el sistema, un estándar en la industria es que para 1 ft<sup>3</sup> de resina catiónica se requieren 9 libras de sal para regenerarse.

Para este sistema se necesita la cantidad de 4 kg de sal (NaCl) para realizar la regeneración como se lo menciona en las especificaciones de la resina mismo ya que se utiliza un ablandador de 2 ft<sup>3</sup> y es necesario que la resina tenga su buena regeneración.

### 3.8.2. *Regeneración de la resina*

#### 3.8.2.1. *Volumen de regeneración de la resina catiónica*

Para dar un mantenimiento es importante saber que la vida útil de la resina se va degradando hasta que llegue el momento de que toque cambiar la resina, esto se produce al realizar constantes regeneraciones. Es por lo que es importante saber que cantidad de agua va a pasar por el ablandador y en qué momento se debe realizar la regeneración.

Un ablandador de 1 ft<sup>3</sup> puede suavizar hasta 5 galones por minuto, entonces para la regeneración se va a considerar que para:

- 1 galón de agua se va a utilizar 3 libras de sal.
- 3.8 Litros de agua se va a utilizar 1.36 kg de sal

El equipo de ablandamiento es de 2 ft<sup>3</sup> entonces se va a regenerar con 9 libras de sal en 12 Litros de agua tiene una capacidad de eliminar 50000 granos de dureza.

Datos

Dureza del agua cruda = 38.01 gpg

C<sub>A</sub> = Capacidad de suavización

V<sub>r</sub> = Volumen de resina en el suavizador

$$C_A = V_r * sal (25000)$$

$$C_A = 2 \text{ ft}^3 * 25000 (9 \text{ libras})$$

$$C_A = 50,000 \text{ granos}$$

$$V_{reg} = \frac{C_A}{dureza}$$

(Ec. 17-3)

$$V_{reg} = \frac{50000g}{38.01 \frac{g}{gal}}$$

$$V_{reg} = 1315.44 \text{ gal} = 4998.68 \text{ L}$$

Una vez obtenido el cálculo de la cantidad de agua que va a pasar por el ablandador es decir es la cantidad de agua suavizada, se va a regenerar la resina a los 4000 L de agua que se haya pasado por el ablandamiento, aquí se está tomando este valor del ablandador para no forzar la resina y así su vida útil sea más eficiente para un nuevo ciclo de ablandamiento.

Al día se consume 220 L de agua en el laboratorio y se debe regenerar la resina a los 4000 L, entonces el cálculo para saber a los cuantos días se debe regenerar es:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ día} & \searrow & 220L \\ X & \swarrow & 4000L \end{array}$$

$$X = 18 \text{ días}$$

A los 18 días se debe regenerar la resina si es que todos los días se consume esa cantidad de agua, si al contrario el laboratorio no consume esa cantidad de agua lo más recomendable es tener en cuenta la cantidad de agua que se ha consumido y verificar la dureza del agua mediante pruebas químicas.

### 3.8.2.2. Flujo de salmuera

Se toma una tasa de flujo de regeneración de  $F_{sal} = 1,2$

$$F_{sal} = \frac{Q_{reg}}{V_r}$$

(Ec. 18-3)

$Q_{reg}$  = Caudal de regeneración

$V_r$  = Volumen de resina

Se despeja de la Ec. 19-3 el caudal de regeneración el cual nos permitirá saber cómo regenerar la resina y que caudal utilizar.

$$Q_{reg} = F_{sal} * V_r$$

$$Q_{reg} = 1.2 * 0.0566$$

$$Q_{reg} = 0.068 \frac{m^3}{h}$$

### 3.8.2.3. Tiempo de regeneración de la resina

Este tiempo nos permitirá saber que tanto dura la regeneración de la resina y es accesible para que la resina este nuevamente apta para un nuevo ciclo de ablandamiento.

$$t_R = \frac{V_{H2O}}{Q_{reg}}$$

(Ec. 19-3)

$$t_R = \frac{0.112 \text{ m}^3}{0.068 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$t_R = 1.64 \text{ h}$$

#### 3.8.2.4. Cálculo de la eficiencia del ablandador

Dureza inicial del agua = 650 ppm

Dureza del agua después del ablandador = 0.07 ppm

Cantidad de dureza eliminada = 649.93

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{649.93}{650} * 100 = 99.98\%$$

El equipo de ablandamiento utilizado en el sistema funciona muy bien permitiendo que su eficiencia sea del 99.98% siendo favorable ya que del agua el muy dura y por medio del equipo empleado se obtiene agua blanda.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Resultados de los análisis del agua antes de tener un tratamiento de ablandamiento

A continuación, se presentan los análisis realizados en la investigación del diseño y construcción del sistema de tratamiento del agua para uso de los equipos del laboratorio de procesos industriales

**Tabla 1-4:** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de la caracterización inicial del agua de pozo.

Parámetros	Unidad	Primera muestra	Segunda muestra	Promedio	Norma
pH	-----	8,30	8,25	8,28	8,5-9,5
Conductividad	us/cm	1114	1110	1112	<3500
Turbiedad	NTU	0,59	0,67	0,63	<5
STD (Solidos disueltos)	mg/l	677,4	675,3	676,35	< 3500
Dureza	mg/l	644	656	650	<0,2
Alcalinidad	mg/l	420	415	417.5	< 700
Cobre	mg/l	0,03	0,03	0,03	<0,05
Sílice	mg/l	59,8	60,3	60.05	<150
Oxígeno	mg/l	7,97	6,86	7,14	<0,05
Hierro	mg/l	0,08	0,06	0,07	<0,1

**Fuente:** Datos obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias.

**Realizado por:** Cabrera, Diana, 2022.

##### 4.1.2. Resultados de los análisis del agua después del tratamiento utilizando resina catiónica

Al emplear el equipo de ablandamiento de 2 ft<sup>3</sup> se obtuvieron los siguientes resultados confirmando que el sistema planteado es correcto y en su totalidad si baja la dureza del agua.

**Tabla 2-4:** Resultados fisicoquímicos del agua después del ablandamiento.

Parámetros	Unidad	Primera muestra	Segunda muestra	Promedio	Norma
pH	-----	9,05	8,93	8,99	8,5-9,5
Conductividad	us/cm	1349	1351	1350	<3500
Turbiedad	NTU	0,95	0,98	0,965	<5
TDS (Sólidos disueltos)	mg/l	820,1	825,7	822,9	< 3500
Dureza	mg/l	0,07	0,08	0,07	<0,2
Alcalinidad	mg/l	420	425	422,5	< 700
Cobre	mg/l	0,01	0,01	0,01	<0,01
Sílice	mg/l	57,7	55,8	56,75	<150
Oxígeno	mg/l	1,00	1,00	1,00	<0,05
Hierro	mg/l	0,07	0,05	0,06	<0,1

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias.

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

#### 4.2. Resultados obtenidos para el diseño del sistema de ablandamiento

Los datos que se obtuvieron para ejecutar el equipo de ablandamiento de agua se realizaron mediante los cálculos correspondientes al ablandamiento como tal permitiendo así tener los siguientes resultados

**Tabla 3-4:** Resultados de la columna de ablandamiento con la resina.

Parámetros	Unidad	Resultado
Área de la columna de ablandador ( $A_c$ )	m <sup>2</sup>	0.07
Altura del lecho ( $h_r$ )	m	0,88
Porcentaje de expansión ( $E_{max}$ )	m	0,35
Altura del lecho hinchado ( $h_{hi}$ )	m	0,91
Longitud del ablandador no utilizado ( $h_o$ )	m	0,448
Cámara de expansión ( $C_{exp}$ )	m	0,40
Altura de la columna cilíndrica ( $h_c$ )	m	1,60
Volumen de la columna cilíndrica	L	100

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

**Tabla 4-4:** Resultados para la regeneración de la resina.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
<b>Capacidad de ablandamiento de la columna</b>	gpg	50000
<b>Cantidad de sal (regeneración)</b>	Kg	4
<b>Cantidad de agua para la regeneración</b>	L	12
<b>Agua que ingresa al laboratorio</b>	L	220,86
<b>Dureza eliminada por día</b>	Granos/día	2217,88
<b>Volumen de ablandamiento para regeneración</b>	L	4000
<b>Días para la regeneración</b>	día	18

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

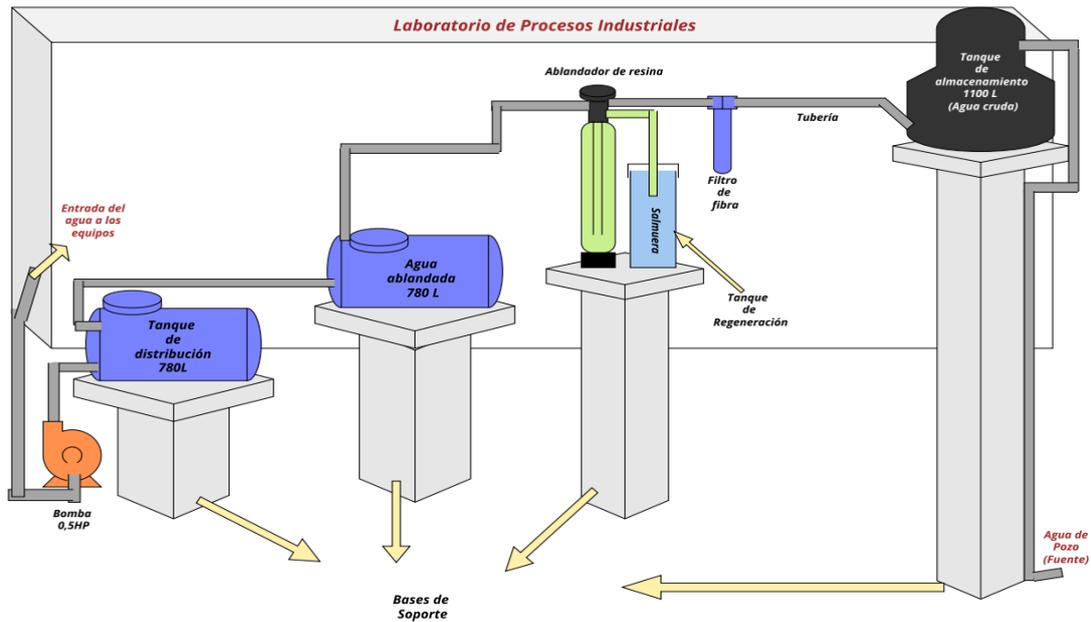
Con base a los resultados obtenidos para la columna de ablandamiento se consideró los siguientes equipos que constan en el sistema de tratamiento de agua.

**Tabla 5-4:** Volumen de los equipos utilizados en el sistema de tratamiento de agua.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Volumen del tanque de almacenamiento agua cruda	L	1100
Volumen del tanque de regeneración	L	100
Volumen de la columna de ablandamiento	L	100
Volumen del tanque de agua ablandada	L	780
Volumen del tanque del agua de distribución	L	780
Bomba	hp	0,5

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

- **Esquema del diseño de la implementación del laboratorio**



**Ilustración 1-4:** Diseño del sistema de tratamiento del agua.

Realizado por: Cabrera, Diana, 2022.

El esquema presentado consta de un tanque de almacenamiento de 1100L que por medio de la presión del agua se llenará y estará ubicado en el primer soporte, seguidamente se colocará un filtro de lecho con la finalidad de que este retenga todas las impurezas del agua como son las partículas suspendidas, el equipo de ablandamiento que es de 2 ft<sup>3</sup> se añade después del filtro para que realice la operación del intercambio iónico donde este contará con un tanque de regeneración de la salmuera de 100 L y un tanque que se utilizara para el lavado de la resina cuando se efectuó la regeneración respectiva, finalmente se tendrá un tanque de almacenamiento del agua tratada de 780 L y un tanque de distribución de 780 L que por medio de una bomba de 0,5 hp se envía el agua a los equipos del laboratorio.

#### 4.3. Costos de la implementación del sistema de tratamiento de agua

Para el proyecto de implementación del sistema se considera todo el material utilizado en la instalación de los tanques como en el equipo de ablandamiento con su respectivo tanque de regeneración y el filtro para el agua.

**Tabla 6-4:** Presupuesto en la instalación del sistema de tratamiento de agua para el laboratorio de procesos industriales.

<b>PRESUPUESTO</b>			
<b>MATERIAL PARA EL ABLANDAMIENTO</b>			
<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo general</b>	
		<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo final</b>
Resina catiónica	2	\$ 90,00	\$ 180,00
Filtro de hilo	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Sal en grano	25 lb	\$ 0,10	\$ 2,50
Válvula manual	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Tanque de salmuera	1	\$ 105,00	\$ 105,00
<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 342,50</b>
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>			
Reactivos para análisis físicoquímicos	12	\$3,30	\$ 40,00
<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 40,00</b>
<b>MATERIAL DE INSTALACIÓN</b>			
Tapas para los tanques azules	1	\$20,00	\$ 20,00
Tapa para el tanque negro	2	\$40,00	\$ 80,00
Accesorio del Rotoplas	1	\$ 32,00	\$ 32,00
Boya de ¾"	2	\$ 6,00	\$ 12,00
<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 144,00</b>
<b>CONSTRUCCIÓN DE LAS BASES</b>			
Cemento	7	\$ 6,70	46,90
Varilla ½"	5	12,70	63,50
Ladrillo	270	\$ 0,13	\$ 35,10
Arena fina	1 m3	\$ 7,00	\$ 7,00
Ripio	1m3	\$ 7,00	\$ 7,00
Clavos 2"	1 lb	\$ 1,00	\$ 1,00
Alambre	3 lb	\$ 1,00	\$ 3,00
Ganchos y tuercas	20	\$ 3,40	\$ 3,40
<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 166,90</b>

<b>ACCESORIOS</b>			
Tubería termofusión ¾”	4	\$ 12,00	\$ 48,00
Adaptadores tanque ¾”	4	\$ 3,25	\$ 13,00
Neplo perdido roscable ¾ “	7	\$ 0,60	\$ 4,20
Tee roscable ¾”	2	\$ 1,25	\$ 2,50
Válvula de ¾”	1	\$ 1,25	\$ 1,25
Reducción copa roscable ¾”	1	\$ 1,75	\$ 1,75
Codo termofusión ¾”	18	\$ 3,00	\$ 54,00
Llave lisa termofusión ¾”	3	\$ 8,00	\$ 24,00
Reducción copa termofusión ¾”	3	\$ 4,50	\$ 13,50
Universal roscable ¾”	4	\$ 2,25	\$ 9,00
Manguera ½”	7 m	\$ 0,35	\$ 2,45
Teflón	5	\$ 1,50	\$ 7,50
Pintura blanca	1 L	\$ 2,00	\$ 2,00
Pintura gris	1 L	\$ 4,00	\$ 4,00
Brochas	2	\$ 1,25	\$ 2,50
Tubo boplast 2”	1	\$ 6,50	\$ 6,50
Pegamento de tubo	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Cemento de contacto	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Cierra	1	\$ 1,00	\$ 1,00
<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 200,65</b>
<b>TRANSPORTE DEL MATERIAL</b>			
Cotizaciones	-----	\$ 20,00	\$ 20,00
Trasporte de Zaruma – Riobamba	-----	\$ 80,00	\$ 80,00
Transporte del material de construcción	-----	\$ 35,00	\$ 35,00
Transporte de la resina	-----	\$ 20,00	\$ 20,00
Transporte de las tapas	-----	\$ 8,00	\$ 8,00
<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 163,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>			
Albañil	-----	\$ 250,00	\$ 250,00
Técnico Instalación	-----	\$ 360,00	\$ 400,00

<b><u>Subtotal</u></b>			<b>\$ 650,00</b>
<b><u>Total</u></b>			<b>\$ 1707,55</b>

Fuente: Tesista

#### **4.4. Análisis y discusión de resultados**

De los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en los laboratorios de la facultad se permitió establecer cuál será la mejor manera de dar un tratamiento al agua para alimentación a los equipos, para ello se puede decir que:

En la caracterización del agua cruda se obtuvieron parámetros que están fuera de la norma británica BS 2486-1997 como es la dureza que tuvo un valor de 650 ppm y una cantidad de oxígeno disuelto de 7.14 ppm y por medio del cálculo del índice de Langelier que es de 0.64 se considera incrustante.

Se realizó pruebas mediante la simulación de una columna de ablandamiento a nivel de laboratorio para lo cual primero se efectuó una activación a la resina catiónica que será utilizada en la columna, para esta activación se empleó una solución de sal en grano dejándola lista para realizar el intercambio iónico, se realizaron las pruebas de dureza y del resto de parámetros dando factores positivos para poder emplear en el sistema de tratamiento un ablandamiento por intercambio iónico, en el cual se empleó tanques de almacenamiento, filtro, columna de ablandamiento de 2 ft<sup>3</sup>, tanque de salmuera, tanques de distribución y la bomba de 0.5 hp una vez instalado el sistema se realizó la pruebas y se obtuvieron los siguientes resultados el agua ablandada dio una dureza de 0.07 ppm, teniendo el equipo una eficiencia del 99.98%, encontrándose dentro de los parámetros de la norma de calidad para calderos.

## CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis correspondiente a los equipos y tuberías del laboratorio de procesos industriales, dando como resultado que los equipos están trabajando normalmente, sin embargo están afectados por la corrosión debido a la elevada dureza del agua, la caldera presenta corrosión en la capa interna la cual se adhiere a las paredes de la misma, en el sistema de refrigeración presenta manchas en el interior del recipiente y existe presencia de corrosión en el tubo capilar; las demás tuberías del laboratorio presentan un alto porcentaje de corrosión y de incrustaciones.
- Se caracterizó el agua de pozo, que se va a utilizar para la alimentación de los equipos del laboratorio mediante un análisis fisicoquímico de la misma, dando como resultado los siguientes parámetros que se encontraban fuera de norma, una dureza inicial de 650 ppm, la cantidad de oxígeno disuelto fue de 7.14 mg/l y un valor de alcalinidad de 417.5 ppm.
- Se realizó las pruebas de tratabilidad determinándose que será necesario utilizar un lecho de resina catiónica para la remoción de los parámetros como la dureza del agua, dejando así el agua apta para utilizarse en el laboratorio.
- El sistema de tratamiento de agua que será usado en el laboratorio de procesos industriales consta de un tanque de captación de 1100 L del agua a tratar, de un filtro de hilo para evitar que el agua que ingrese con partículas sólidas, principalmente consta de una columna de ablandamiento de 1,60 m de altura con un área de 0.07 m<sup>2</sup>, la cual está constituida por el lecho de resina contando con un espacio libre de 0,44 m para la expansión de la misma, la regeneración de la resina consta de un tanque de salmuera de 100 L con la solución de cloruro de sodio saturada y para el almacenamiento de agua ablandada se tendrá un tanque 780 L y el tanque de distribución a los equipos tiene una capacidad de 780 L, finalmente para enviar el agua a los equipos se conectara la bomba de 0.5 Hp.
- Se caracterizó el agua tratada determinándose que los parámetros se encuentren dentro de la norma británica BS 2486-1997, así tenemos que principalmente la dureza se redujo a un valor final de 0.07ppm permitiendo así tener agua apta para el consumo industrial de los equipos.

## **RECOMENDACIONES**

- Para tener una mejor eficiencia del ablandador es importante que se le realice a la columna de intercambio una limpieza con agua destilada evitando así impurezas al momento de realizar la operación de intercambio.
- Es importante que la persona a cargo de la operación del sistema de tratamiento se guíe en el manual de procedimientos para evitar un mal funcionamiento del mismo.
- Caracterizar el agua cada 15 días enfocándose en la dureza para determinar si es necesario la regeneración de la resina.
- Es necesario que para la regeneración de la resina la disolución de la salmuera sea preparada 2 días antes para evitar el agotamiento de esta y se realice el lavado correspondiente de la resina.
- Comprar el kit de medición de la dureza HACH 5B con el fin de hacer los controles rápidos correspondientes al ablandamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABARCA, P. & DUMMER, W.** *Tratamiento para purificar el agua de alimentación: aguas de alimentación de calderas* [En línea]. 2016, pp. 3-11. Disponible en: [https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf?sfvrsn=5d93dcf2\\_0](https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf?sfvrsn=5d93dcf2_0)

**ALBA, M., SANDOVAL, A. & MARTINEZ, D.** *Problemas y Tratamiento del Agua de Caldera: Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas* [En línea]. México: Plaza y Valdés S.A, 1999a [Consulta: 21 April 2022]. Disponible en: [http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio\\_sin\\_paredes/fac\\_ing/Manu\\_cald/cap/13.pdf](http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Manu_cald/cap/13.pdf).

**ALBA, M., SANDOVAL, A. & MARTINEZ, D.** *Tratamiento de agua para una caldera: Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas* [En línea]. México: Plaza y Valdés S.A, 1999b. [Consulta: 13 May 2022]. ISBN 968-856-700-0. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?id=UXbvFcm17c8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=UXbvFcm17c8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

**ALVARADO, H.** Estudio cualitativo de la reactividad de un grupo de metales. [En línea]. Caracas, Venezuela. 2010 [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://vsip.info/practica-de-reactividad-de-los-metales-i-pdf-free.html>.

**APHA, AWWA & WPCF.** *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* [En línea]. 17° ed. Madrid, 1992. [Consulta: 20 June 2022]. ISBN 978-84-7978-031-9. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/1I9D-OinsCmZe\\_qvCCDKv90ScBtwnjddN/view](https://drive.google.com/file/d/1I9D-OinsCmZe_qvCCDKv90ScBtwnjddN/view).

**ARBOLEDA, J.** *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 1° ed. Florida: Editorial ACODAL, 1992. pp. 15-20

**BARRENECHEA, A.** *Aspectos Fisicoquímicos de la calidad del agua*. Barcelona-España, 2020, pp. 5-6.

**BELZARES, V., SILVA, T. & ARRIETA, A.** *Sistema de tratamiento de agua proveniente del Lago de Maracaibo para su utilización como agua para calderas*. Revista Tecnocientífica URU [En línea], 2020, pp. 10-11. [Consulta: 23 April 2022]. ISSN 2343-6360. Disponible en: <http://uruojs.insiempp.com/ojs/index.php/tc/article/viewFile/550/353>.

**CABALLERO, C. & SOLER, A.** *Agua Subterránea: Depósito para un planeta sediento*. [Blog]. Leiden, 2005. [Consulta: 20 April 2022]. Disponible en: [www.planetatierra.org](http://www.planetatierra.org).

**CAMINATI BRICEÑO, Alessandra. & CAQUI FEBRE, Rocío.** Análisis y Diseño de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura [En línea]. Trabajo de Titulación. Universidad de Piura, Piura 2013. pp. 15-16. [Consulta: 21 May 2022]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1738/ING\\_526.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1738/ING_526.pdf).

**CERVANTES ANANGONÓ, Luis Alfredo.** 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. [En línea]. Tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2015. pp. 9-40. [Consulta: 15 June 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9122/6/UPS-KT01146.pdf>.

**CHANG, J.** *Calidad de Agua (FMAR-01677)*. [En línea], 2019. Guayaquil, [Consulta: 5 February 2022]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2c2%2c3.pdf>.

**CHAVEZ DE ALLAIN, A.M.** *Tecnologías de control de la contaminación*. Universidad de Piura, 2012. pp 15-21.

**CID, J. and MARTÍNEZ, J.** *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. [En línea]. Energy Management Agency. Madrid, España, 2013. [Consulta: 21 April 2022]. Disponible en: <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>.

**CLARA ÁLVAREZ, Pamela Lizeth.** Propuesta metodológica para el levantamiento de información para determinar la eficiencia térmica de una caldera. [En línea]. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2017. pp. 20-21. [Consulta: 21 May 2022]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12378/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**COAKLEY, T., DUFFY, N., FREIBERGER, S., FRESNER, J., HOUBEN, J., KERN, H., KRENN, C., MCCARTHY, C. & RAUPENSTRAUCH, H.** *Uso de la energía en el sector*

*industria: manual para estudiantes* [En línea]. Comisión Europea: IUSES Intelligent use of energy at school. 2010. [Consulta: 21 May 2022]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/5475318/uso-de-la-energ%C3%ADa-en-el-sector-industria---iuses>.

**COLCHA CAMBAL, Alvaro Luis.** Diseño de un sistema para el tratamiento del agua de alimentación a la caldera para prevenir la corrosión en la planta lácteos de Tunshi [En línea]. Tesis. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 12-25. pp. 67-106. [Consulta: 5 February 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3213/1/96T00216.pdf>.

**CONDORI MAMANI, Alfredo., HEREDIA QUISPE, Martha. & MAMANI RAMOS, Luis Cleofer.** Instalación y Evaluación de un Ablandador y un Filtro de Partículas para el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química [En línea]. Tesis. Universidad Nacional Del Altiplano, Perú, 2017. pp 38-42. [Consulta: 27 June 2022]. Disponible en: <http://docplayer.es/154680999-Universidad-nacional-del-altiplano.html>

**DE SOUSA, C., CORREIA, A. & COLMENARES, M.** “Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control”. *Scielo* [En línea], 2010. Maracay, vol. 5, no. 1690–4648. [Consulta: 17 April 2022]. ISSN 1690-4648. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1690-46482010000200003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482010000200003).

**DGOS-DIEM.** *Operación y Mantenimiento de Calderas de Vapor Piro-tubulares en Establecimientos de Salud* [En línea], 2019. [Consulta: 22 June 2022]. 642-2019/MINSA. Disponible en: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/07/1006654/rm-642-2019-minsa.pdf>.

**DÖLL, P., HOFFMANN-DOBREV, H., PORTMANN, F.T., SIEBERT, S., EICKER, A., RODELL, M., STRASSBERG, G. & SCANLON, B.R.** “Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations”. *Journal of Geodynamics* [En línea], 2012. vol. 59–60, pp. 143–156. [Consulta: 13 May 2022]. ISSN 0264-3707. DOI 10.1016/J.JOG.2011.05.001. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264370711000597?via%3Dihub>.

**DONOSO LLIQUIN, Jenny Alexandra.** Diseño de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano de la red n°4 de la ciudad de Riobamba [En línea]. Tesis. Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2013. pp. 33-35. [Consulta: 13 June 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3107/1/96T00226.pdf>.

**ESPIGARES, M. y PÉREZ, J.** Precipitación Química Ablandamiento del Agua. [En línea]. 2018 [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/ablandamiento.pdf#:~:text=Existen%20varios%20procedimientos%20para%20realizar%20el%20ablandamiento%20del,CO2%20%2B%20Ca%28OH%292%20%E2%87%92%20CO3Ca%20%E2%86%93%20%2B%20H2O>

**FENERCOM.** *Tipología de Caldera*. [Blog], 2019. [Consulta: 3 June 2022]. Disponible en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/10/2017-06-21-Tipologia-de-calderas-VIESSMANN-fenercom.pdf>.

**GONZÁLEZ, J., PEÑA, J. & SUSIAL, P.** *Tratamientos externos e internos del agua para calderas. Ingeniería Química, Tratamiento de Aguas* [En línea]. Editorial Alción S.A, 2000 [Consulta: 20 May 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/275017231\\_Tratamientos\\_Externos\\_e\\_Internos\\_del\\_Agua\\_para\\_Calderas\\_Influencia\\_en\\_el\\_Coste\\_del\\_Vapor\\_Producido/link/615d46c4fbd5153f47e503cf/download](https://www.researchgate.net/publication/275017231_Tratamientos_Externos_e_Internos_del_Agua_para_Calderas_Influencia_en_el_Coste_del_Vapor_Producido/link/615d46c4fbd5153f47e503cf/download).

**GOOGLE MAPS.** Laboratorio de Procesos Industriales- Espoch- Google Maps. [En línea], 2022. [Consulta: 22 April 2022]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/LABORATORIO+DE+PROCESOS+INDUSTRIALES/@-1.6557409,-78.6814961,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d3070985470a35:0x83e31b047a2e0642!8m2!3d-1.6557773!4d-78.6792723>.

**GUAMÁN, N., 2011.** *Elaboración de un programa informático para control de calidad de agua para consuma en calderas pertenecientes a la Compañía Cartones Nacionales S.A* [en línea]. Tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca. [Consulta: 5 February 2022]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/819/1/tn208.pdf>.

**JHUESA, W.T.** *Sistema de Desgasificación para la Producción de Agua UltraPura en la Industria Química*. [Blog]. 18-marzo-2022 [Consulta: 15 June 2022]. Disponible en: <https://jhuesa.com/sistema-de-desgasificacion-para-la-produccion-de-agua-ultra-pura-en-la-industria-quimica>.

**LAWRENCE KOHAN, A.** *Manual de Calderas, Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimiento y normativa*. McGraw-Hill. Madrid, España, 2000. ISBN 978-84-481-2546-2. pp- 12-13, 541-545, 721-723.

**MARTÍNEZ BAYAS, Javier Rafael, & IDROBO JAYA, Marcelo Gonzalo.** Diseño y Construcción de un Sistema de Ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de Ciencias – ESPOCH. [En línea]. Tesis. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 27-47. [Consulta: 22 May 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2031/1/96T00173.pdf>.

**MEZA SOLIS, Cinthia Lilian, & PÉREZ GUINEA, Luis Mario.** Construcción y validación de un ablandador con resinas catiónicas para el agua de alimentación a la caldera del laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la facultad de ingeniería química de la UNCP [En línea]. Tesis. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo – Perú. 2011. pp. 3-11. [Consulta: 20 April 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3696/Meza%20Solis-Perez%20Guinea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**MIRANDA, R.** “Calderas: Clasificación, Usos y Mecanismos de transferencia de calor.” *Researchgate* [En línea] 2018. México. pp. 2-3. [Consulta: 20 April 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/326904671\\_CALDERAS\\_CLASIFICACION\\_USOS\\_Y\\_MECANISMOS\\_DE\\_TRANSFERENCIA\\_DE\\_CALOR](https://www.researchgate.net/publication/326904671_CALDERAS_CLASIFICACION_USOS_Y_MECANISMOS_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR).

**MORETA, E.** Sistema de Refrigeración por compresión. [En línea]. 2015. Venezuela. pp 3-7. [Consulta: 22 April 2022]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>.

**NORMA BRITÁNICA BS - 2486 y ABMA.** Norma Internacional para el tratamiento de Aguas de Calderas. [En línea]. 2012 [Consulta: 10 April 2022]. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/tratamiento-de-agua-de-caldera-gen58v290xno>

**OELKER, A.** Tratamiento de Agua para Calderas. [En línea]. 2019. pp. 2-9. [Consulta: 5 February 2022]. Disponible en: [http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo_tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

**ORTIZ DIAZ, Ana Laura, & TAVERA CARDONA, Cinthia Elizabeth.** Tratamiento de Agua para alimentación de Calderas [En línea]. Tesis. Instituto Politécnico Nacional, México. 2013. Pp. 10-12. [Consulta: 17 April 2022]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17051/25-1->

[16652.pdf?sequence=1](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17051/25-1-16652.pdf?sequence=1)<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17051/25-1-16652.pdf?sequence=1>.

**SANTACRUZ, J.** Agua purificada para el recinto mesada de arriba del Cantón Colimes [En línea]. Tesis. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. 2014. pp. 20-23. [Consulta: 20 May 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6620/1/Tesis%20AGUA%20PURIFICADA%20PARA%20EL%20RECINTO%20MESADA%20DE%20ARRIBA%20DEL%20C.pdf>.

**SHUN, C., QING, Z. & ZHIXIN, Z.** Agua para alimentación de la caldera. [Blog]. 2008. [Consulta: 20 April 2022]. Disponible en: <https://gaz.wiki/wiki/es/Feedwater>.

**SINCAL.** Información Técnica ITSI-03 - Calidad del Agua de Calderas. [En línea]. 2018. pp. 3-8. [Consulta: 22 April 2022]. Disponible en: <http://www.sincal.es/descargas/calidad-de-agua-de-calderas.pdf>.

**SUBBA RAO, N. & CHAUDHARY, M.,** “Hydrogeochemical processes regulating the spatial distribution of groundwater contamination, using pollution index of groundwater (PIG) and hierarchical cluster analysis (HCA)”. *Groundwater for Sustainable Development* [En línea], 2019, vol. 9, pp. 100-238. [Consulta: 13 May 2022]. ISSN 2352-801X. DOI 10.1016/J.GSD.2019.100238. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X19301249?via%3Dihub>.

**TORRES GÓMEZ, Jose Luis.** Estudio energético para el Redimensionamiento de una caldera de vapor. [En línea]. Tesis Posgrado. Universidad Veracruz, Veracruz. 2015. Pp. 9-11. [Consulta: 15 April 2022]. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41563>

**TOTOY PILCO, Edwin Marcelo, & MORETA RAMÍREZ, Melinton Ademar.** Diseño e Implementación de una Planta (prototipo) de Tratamiento de Agua Potable tipo paquete para los pozos uno y dos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [En línea]. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2016. Pp. 5-6. [Consulta: 8 February 2022]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/6206/1/236T0228.pdf>.

**VARO, P., CHILLÓN, M. & PRATS, D.** Características Físicoquímicas de las Aguas Ablandadas. [En línea], 2004. vol. 328, pp. 146–150. [Consulta: 6 June 2022]. ISSN 0210-2064. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2532963>.

VILLENA, J. "Calidad del agua y desarrollo sostenible". *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 35, no. 2, 2004. pp. 304–312. DOI 10.17843/rpmesp.2018.352.3719.



DIRECCION DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACION  
Ing. Jhonatan Parreno Uquillas MBA  
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

## GLOSARIO

**Ablandador:** Equipo utilizado para eliminar la dureza causada por las sales de calcio y magnesio empleando resinas de intercambio catiónico en el tratamiento del agua (Shun et al., 2008, p. 6).

**Buffer:** Solución amortiguadora que tiene la propiedad de no variar el valor del pH, en su composición química es decir lo mantiene constante (Colcha, 2013, p. 60).

**Caldera:** Es un recipiente a presión, usado para sistemas de destilación para la producción de vapor a partir del agua (Moreta 2015, p. 3).

**Dureza de carbonatos:** Es la dureza ocasionada por los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio en el agua (Sincal 2018, p. 2).

**Dureza no carbonatada:** Es la dureza causada por los cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio en el agua (Sincal 2018, p. 2).

**Incrustación:** Son depósitos de minerales que ocasiona la dureza del agua a las partes internas de equipos como las calderas, tuberías de intercambio de calor provocando que estas se deterioren (Cid & Martínez 2013, p. 48).

**Intercambio Iónico:** Proceso en que se intercambia los iones no deseados, por otros iones deseados que están unidos a las partículas una resina. Normalmente los iones hidrógeno de la resina, se cambian por los cationes y los iones hidroxilo de la resina, se cambian por los aniones. Los iones hidrógeno e hidroxilo, se combinan, formando agua pura (Abarca & Dummer 2016, p. 10).

**Ión:** Un átomo o grupo de átomos con una carga positiva (Cación) o una negativa (Anión), como resultado de haber perdido o ganado electrones (Oelker, 2019, p. 9).

**Canalización:** Hendiduras que se forman a través del lecho de resina debido a procedimientos incorrectos de operación, como altos flujos, insuficiente distribución (Alvarado 2010, p. 6).

**Efluente:** Solución saliente de una columna de intercambio iónico (Norma Británica BS - 2486 y ABMA 2012, p. 3).

## ANEXOS

### ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA RESINA EMPLEADA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO.



**CG8**

RESINA DE INTERCAMBIO CATIÓNICO  
ÁCIDO FUERTE TIPO GEL  
8 % DVB, EN FORMA DE Na O H

RESINTECH CG8 es una resina catiónica de ácido fuerte tipo gel en forma sódica con enlaces cruzados al 8 %. CG8 es una resina catiónica eficaz optimizada para aplicaciones industriales y residenciales que requieren una buena eficiencia de regeneración y estabilidad oxidativa. RESINTECH CG8 está diseñada para ser usada en todas las aplicaciones industriales y comerciales de ablandamiento, así como en aplicaciones residenciales que tienen cantidades moderadas de cloro en el agua de alimentación. CG8-H está diseñada para ser usada en desmineralizadores y lechos mixtos. CG8 está disponible en forma sódica o forma de hidrógeno (cuando se pide como CG8-H).



**CON CERTIFICACIÓN NSF/ANSI-61  
RELATIVA A LA SEGURIDAD  
DEL MATERIAL**

Con certificación sello de oro de la WQA cuando se pide como CG8-HP

#### CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- **APLICACIONES INDUSTRIALES DE DESMINERALIZACIÓN Y ABLANDAMIENTO**

El uso de DVB de enlaces cruzados al 8% es ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales

- **BAJO DESTEÑIMIENTO**

- **ESTABILIDAD FÍSICA SUPERIOR**

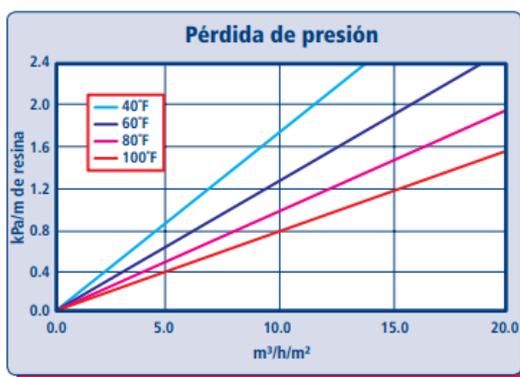
La esfericidad de más del 93 % y una gran resistencia a la compresión, junto con la distribución cuidadosamente controlada de partículas, proporcionan una larga vida útil y una baja caída de presión

- **CUMPLE CON LAS REGULACIONES DE LA FDA DE LOS ESTADOS UNIDOS**

Cumple con el párrafo 21 del Código de Regulaciones Federales 173.25 de las Regulaciones de Aditivos Alimentarios de la FDA de los Estados Unidos

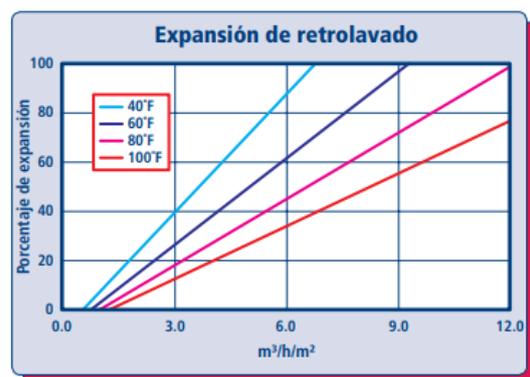
Antes de usar la resina para agua potable por primera vez, se debe someter a un retrolavado durante mínimo 20 min y posteriormente se debe enjuagar de arriba a abajo con 10 volúmenes de lecho.

#### PROPIEDADES HIDRÁULICAS



##### PÉRDIDA DE PRESIÓN

El gráfico anterior muestra la pérdida de presión esperada de ResinTech CG8 por cada 0,3 metros de profundidad de lecho como una función de la tasa de flujo a diversas temperaturas.



##### RETROLAVADO

El gráfico anterior muestra las características de expansión de ResinTech CG8 como una función de la tasa de flujo a diversas temperaturas.

## RESINTECH® CG8

### PROPIEDADES FÍSICAS

Estructura polimérica	Estireno/DVB
Tipo de polímero	Gel
Grupo funcional	Ácido sulfónico
Forma física	Granos esféricos
Forma iónica, tal y como se envía	Sodio o hidrógeno
Capacidad total	
Forma de hidrógeno	> 1.8 meq/mL
Forma sódica	> 2.0 meq/mL
Retención de agua	
Forma de hidrógeno	47 a 56 %
Forma sódica	42 a 49 %
Peso aproximado de envío	
Forma de hidrógeno	50 lbs./cu.ft.
Forma sódica	52 lbs./cu.ft.
Hinchamiento, Na a H	5 a 9 %
Distribución de tamaño de malla (U.S. mesh)	16 a 50
Contenido máximo de finos (<50 mesh)	1 %
Esfericidad mínima	93 %
Coefficiente de uniformidad	1.6 approx.
Color de resina	Ámbar

Nota: las propiedades físicas se pueden certificar por lote previa solicitud.

### CONDICIONES DE TRABAJO SUGERIDAS

Temperatura máxima continua	
Forma sódica	280 °F
Profundidad mínima de lecho	24 inches
Expansión de retrolavado	25 psi
Pérdida máxima de presión	172,3 kPa
Rango de trabajo de pH	0 a 14 SU
Concentración del regenerante	
Ciclo de hidrógeno	5 a 10 % de HCl
Ciclo de hidrógeno	1 a 8 % de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Ciclo de sal	10 a 15 % de NaCl
Nivel del regenerante	4 a 15 lbs./cu.ft.
Tasa de flujo del regenerante	0.5 a 1.5 gpm/cu.ft.
Tiempo de contacto del regenerante	> 20 minutos
Tasa de flujo de desplazamiento	Igual al agua de dilución
Volumen de desplazamiento	10 a 15 gallons/cu.ft.
Tasa de flujo de enjuague	Igual a la tasa de flujo de servicio
Volumen de enjuague	35 a 60 gallons/cu.ft.
Tasa de flujo de servicio	1 a 10 gpm/cu.ft.

Nota: estas pautas describen las condiciones de trabajo promedio de bajo riesgo. No son mínimos ni máximos absolutos.

Para usar este producto fuera de estas pautas, comuníquese con el Servicio Técnico de ResinTech

### APLICACIONES

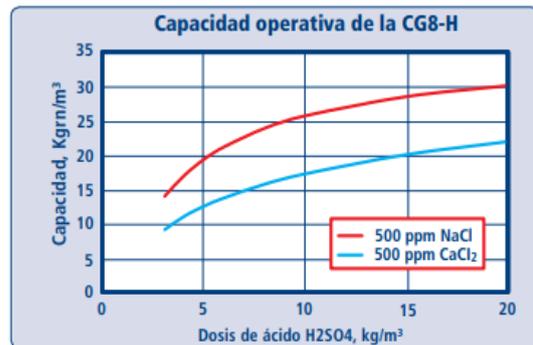
#### ABLANDAMIENTO



Los datos de capacidad y fuga se basan en lo siguiente: proporción de 2 partes de Ca por 1 parte de Mg, TSD de 500 ppm como CaCO<sub>3</sub>, dureza del 0.2 % en la sal, y concentración de salmuera del 10 % aplicada a corriente a través de la resina durante 30 minutos. No se implementó ninguna disminución técnica.

#### DESMINERALIZACIÓN

ResinTech CG8-H se puede usar como el componente catiónico en aplicaciones de desmineralización de lechos mixtos y separados en las que una resina de cationes en forma de hidrógeno se combina con una resina de aniones en forma de hidróxido. La regeneración se logra con ácido sulfúrico gradual o ácido clorhídrico.



Capacidad basada en 500 ppm de sal indicada (como CaCO<sub>3</sub>) con 0 % de alcalinidad, 36 in. de profundidad de lecho, tasa de flujo de 2 a 4 gpm a cu. y tiempo de inyección de químicos de > 30 min. La concentración de ácido sulfúrico debe ser gradual si la concentración de calcio supera el 20 % del total de cationes. No se implementó ninguna disminución técnica.

#### DESFERRIZACIÓN

CG8 tiene una buena capacidad para el hierro ferroso. El contenido de hierro en el agua de alimentación no debe ser mayor que 1 mg/l por cada 17 mg/l de dureza.

#### REMOCIÓN DE AMONIACO

ResinTech CG8 es ligeramente selectiva para amoníaco en comparación con el sodio, pero la dureza es mucho más preferible. El amoníaco no se ioniza con un pH mayor que 9 y no se remueve adecuadamente cuando el pH es significativamente alcalino.

East Coast - West Berlin, NJ Tel.: 856.768.9600 • Midwest - Chicago, IL Tel.: 708.777.1167 • West Coast - Los Ángeles, CA Tel.: 323.262.1600

**PRECAUCIÓN: NO MEZCLE LA RESINA DE INTERCAMBIO DE IONES CON AGENTES OXIDANTES FUERTES.** El ácido nítrico u otros agentes oxidantes fuertes pueden causar reacciones explosivas cuando se mezclan con materiales orgánicos como las resinas de intercambio de iones.

**LAS HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES (HDSM)** están disponibles para todos los productos de ResinTech Inc. Para obtener una copia, comuníquese con nuestras sedes corporativas o un representante local de ventas de ResinTech. Estas incluyen información importante sobre salud y seguridad. Dicha información puede ser necesaria para proteger a sus empleados y clientes de cualquier riesgo para la salud y seguridad asociado con nuestros productos. Le recomendamos conservar y estudiar las HDSM pertinentes de nuestros productos y cualquier otro producto que use. Estas sugerencias y datos se basan en la información que creemos que puede ser fiable y se ofrecen de buena fe, sin embargo, no constituyen ninguna garantía. Le pedimos que no utilice estos productos de manera insegura o que incumpla cualquier patente; dicho esto, no asumimos responsabilidad alguna por las consecuencias de cualquier acción de esta naturaleza.

ResinTech es marca registrada © de RESINTECH INC.

CG8 Ver. 1.1

**ANEXO B: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FISCOQUÍMICO ANTES DE ABLANDAR  
CON RESINA CATIÓNICA.**



**ESPOCH**  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Fecha: 08/11/2022

Análisis solicitado por: Srta: Diana Carolina Cabrera Aguilar

Tipo de muestras: Agua Potable/ Agua de pozo

Localidad: Laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH

**TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR**

Muestra 1: Agua Pozo

Muestra 2: Agua Cruda

**Análisis Químico**

*Resultados de los parámetros fisicoquímicos de la caracterización inicial del agua de pozo*

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Muestra 1	Muestra 2
pH	-	4500-H-B	8,30	8,25
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1114	1110
Turbiedad	NTU	2130-B	0,59	0,67
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-C	677,4	675,3
Dureza	mg/L	2340-C	644	656
Alcalinidad	mg/L	2320-B	420	415
Cobre	mg/L	3500-C	0,03	0,03
Sílice	mg/L	4500-C	59,8	60,3
Hierro	mg/L	3500-B	0,08	0,06

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

TÉCNICO DOCENTE RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXO C: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DESPUÉS DE ABLANDAR  
CON RESINA CATIÓNICA.



**ESPOCH**  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Fecha: 08/11/2022

Análisis solicitado por: Srta: Diana Carolina Cabrera Aguilar

Tipo de muestras: Agua Potable/ Agua de pozo

Localidad: Laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH

**TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR**

Muestra 1: Agua Pozo

Muestra 2: Agua Cruda

**Análisis Químico**

*Resultados de los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento del agua mediante el ablandamiento químico.*

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Muestra 1	Muestra 2
pH	-	4500-H-B	9,05	8,93
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1349	1351
Turbiedad	NTU	2130-B	0,95	0,98
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-C	820,1	825,7
Dureza	mg/L	2340-C	0,07	0,08
Alcalinidad	mg/L	2320-B	420	425
Cobre	mg/L	3500-C	0,01	0,01
Sílice	mg/L	4500-C	57,7	55,8
Hierro	mg/L	3500-B	0,07	0,05

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.  
TÉCNICO DOCENTE RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

**ANEXO D: NORMA BRITÁNICA BS 2486:1997. REQUERIMIENTOS PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA CALDERA A VAPOR.**

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

**ANEXO E: LÍMITES DE IMPUREZAS RECOMENDADOS POR ASME, PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN Y EL AGUA DE CALDERAS.**

Presión de caldera	AGUA DE CALDERA			AGUA DE ALIMENTACIÓN			
	Sólidos totales, ppm <sup>1</sup>	Alcalinidad total, ppm como CaCO <sub>3</sub> <sup>1</sup>	Silice, ppm como SiO <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Dureza, ppm como CaCO <sub>3</sub>	Hierro, ppm como Fe	Cobre, ppm como Cu	Oxígeno, ppm como O <sub>2</sub>
0-300	3.500	700	75-50	0-1 Máx.	0,10	0,05	0,007
301-450	3.000	600	50-40	0-1 Máx.	0,10	0,05	0,007
451-600	2.500	500	45-35	0-1 Máx.	0,10	0,05	0,007
601-750	2.000	400	35-25	0-1 Máx.	0,05	0,03	0,007
751-900	1.500	300	20-8	0-1 Máx.	0,05	0,03	0,007
901-1.000	1.250	250	10-5	0-1 Máx.	0,05	0,03	0,007
1.001-1.500	1.000	200	5-2	0	0,01	0,005	0,007
1.501-2.000	750	150	3-0,8	0	0,01	0,005	0,007
2.001-2.500	500 <sup>4</sup>	100 <sup>4</sup>	0,4-0,2	0	0,01	0,005	0,007
2.501-3.000	500 <sup>4</sup>	100 <sup>4</sup>	0,2-0,1	0	0,01	0,005	0,007

La materia orgánica del agua de alimentación debería ser cero y el pH, en el rango de 8,0 a 9,5<sup>3</sup>.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, CALDERAS, DN-004, 0-06; Y (D) J. A. LUX,

**ANEXO F: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO POR MEDIO DE ABLANDAMIENTO.**



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO                  FACULTAD DE CIENCIAS                  ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA                  ELABORADO POR:</p> <p>DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR</p>	<b>CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA</b>		
<p>a. Pruebas de alcalinidad del agua de pozo.                  b. Determinación de la dureza del agua.                  c. Determinación de hierro y sílice del agua de pozo.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>				
			1	1:1	20/10/2022

CONTINUACIÓN



a)



b)



c)

<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>                  ELABORADO POR:</p>	<p><b>CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA</b></p>		
<p>a. Determinación de oxígeno disuelto.                  b. Muestra de agua en la caracterización.                  c. Muestras de agua con diferentes concentraciones de reactivos-.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR</p>	<p><b>LÁMINA</b></p>	<p><b>ESCALA</b></p>	<p><b>FECHA</b></p>
			<p>2</p>	<p>1:1</p>	<p>20/10/2022</p>

**ANEXO G: SIMULACIÓN DE UN ABLANDADOR A NIVEL DE LABORATORIO PARA REALIZAR PRUEBAS CON LA RESINA.**



a)



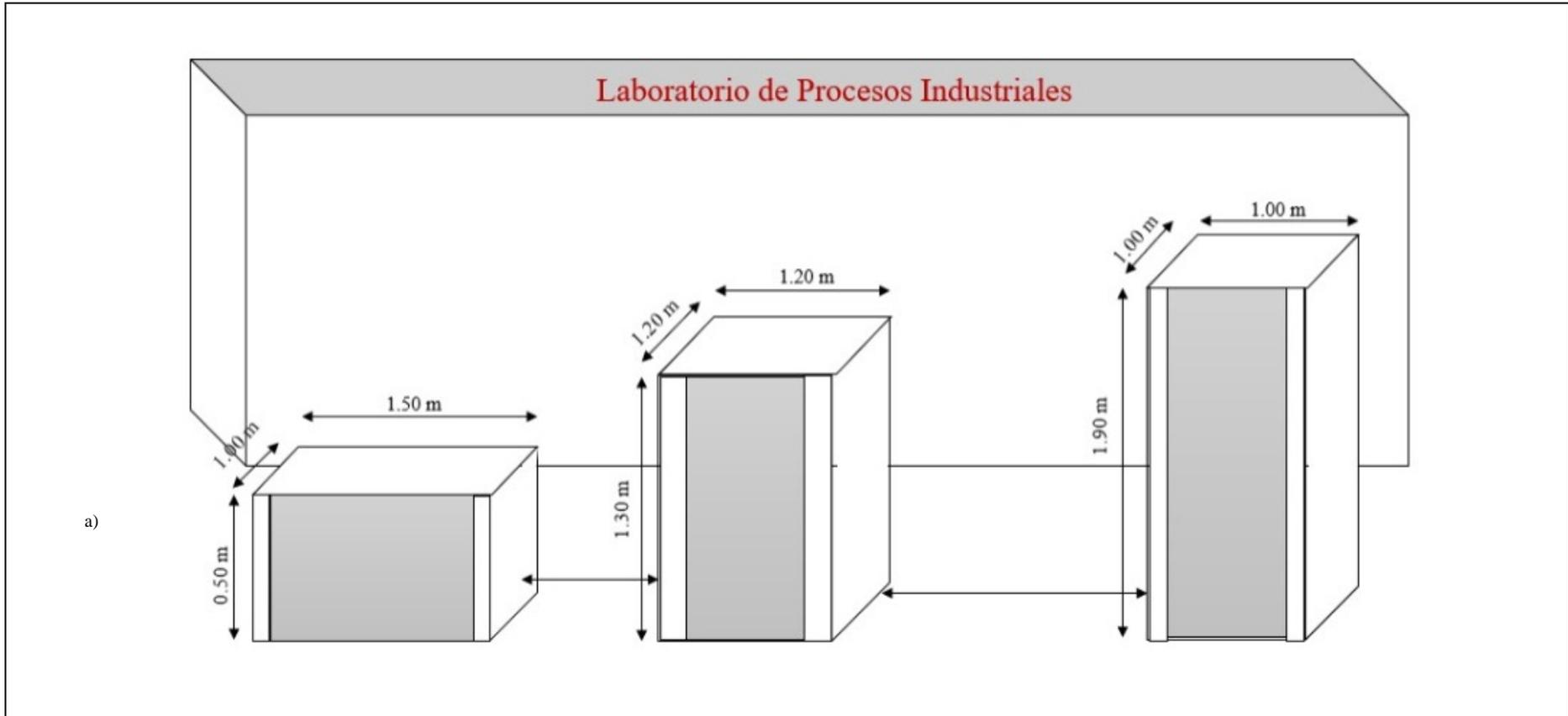
b)



c)

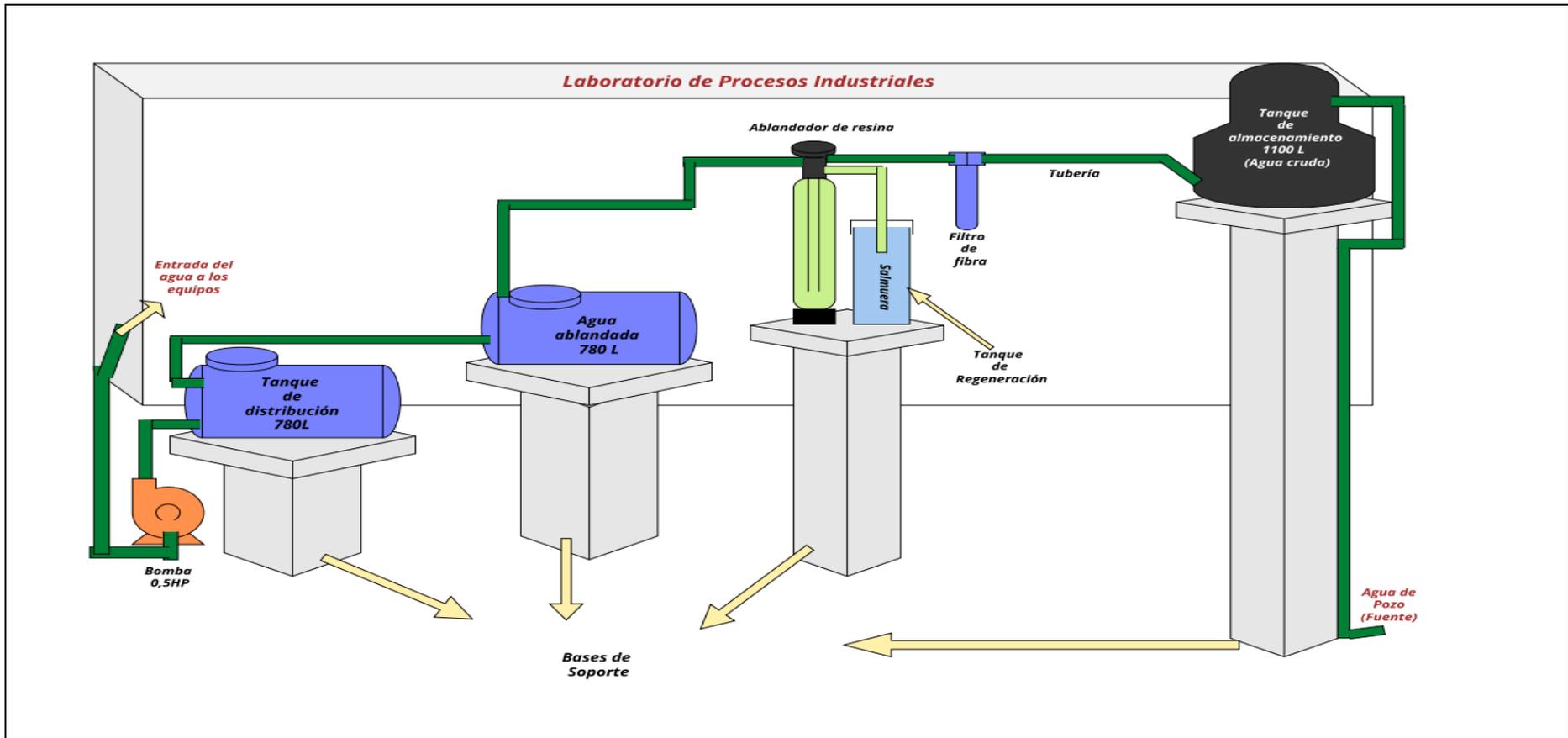
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b> ELABORADO POR:  DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR	<b>PRUEBAS CON LA RESINA PARA ABLANDAMIENTO.</b>		
a. Simulación de una columna de ablandamiento. b. Colocación de la resina en la columna. c. Observación de la resina a emplearse.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			3	1:1	20/10/2022

**ANEXO H: DIMENSIONAMIENTO DE LAS BASES DE SOPORTE DEL LABORATORIO DE PROCESOS.**



NOTAS:  a. Dimensiones de las bases.	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR:  DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR	<b>DIMENSIONES DE LAS BASES.</b>		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4	1:1	20/10/2022

**ANEXO I: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO.**



NOTAS:  a. Diseño del sistema de tratamiento de agua.	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b> ELABORADO POR:  DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR	<b>DISEÑO DEL TRATAMIENTO.</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			5	1:1	20/10/2022

**ANEXO J: IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA PARA USO DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO.**



a)



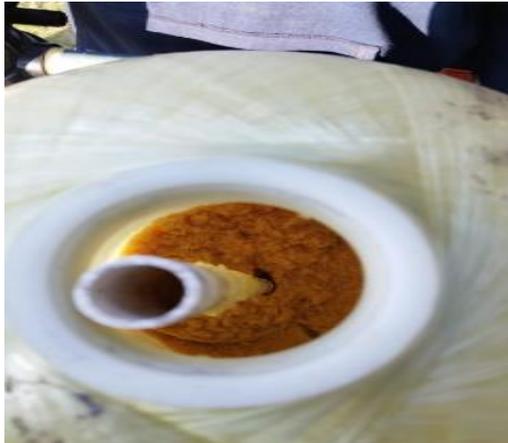
b)



c)

<b>NOTAS:</b>  a. Identificación de la fuente de agua cruda. b. Colocación del tanque de almacenamiento del agua. c. Instalación del filtro y equipo de ablandamiento.	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR:  DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA.</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			6	1:1	20/10/2022

CONTINUACIÓN



a)



b)



c)

<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>                  ELABORADO POR:</p>	<p><b>CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO.</b></p>		
<p>a. Resina en el tanque de ablandamiento.                  b. Válvula de cabezal manual.                  c. Instalación del tanque de distribución a los equipos.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR</p>	<p><b>LÁMINA</b></p>	<p><b>ESCALA</b></p>	<p><b>FECHA</b></p>
			<p>7</p>	<p>1:1</p>	<p>20/10/2022</p>

**CONTINUACIÓN**



a)



b)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>                  ELABORADO POR:                  DIANA CAROLINA CABRERA AGUILAR</p>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO.</b>		
a. Instalación de equipo de ablandamiento y tanque de almacenamiento. b. Instalación de los equipos de almacenamiento y distribución.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			8	1:1	20/10/2022



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 04 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Diana Carolina Cabrera Aguilar
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACIÓN  
Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MBA  
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

2403-DBRA-UTP-2022