



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL AGUA DE
ALIMENTACIÓN A LOS CALDEROS EN EL PARQUE ACUÁTICO
LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del título de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTOR: JESSICA CAROLINA PÉREZ YAMBAY

DIRECTOR: ING. JOSÉ USIÑA

RIOBAMBA – ECUADOR

-2015-

No es la llegada sino el camino, los momentos especiales con personas extraordinarias, las batallas contra feroces dragones, y aunque no he vivido tantos años como para volverme una persona sabia, sé que Dios nos permite ir descubriendo a través del viaje que un día iniciamos la esencia misma de la vida con alegría.

Quiero agradecer a Dios y a la Mamita María por permitirme llegar a formar parte de los seres más sublimes, mis Padres Jhon y María que con su amor y apoyo incondicional e logrado conseguir una de mis sueños, a mi hermana Karina por ser mi ejemplo de lucha constante, a mis sobrinos Daniela y Samuel que son mi mayor alegría.

Al Ing. José Usiña, a la Ing. Mónica Andrade; Director y Miembro del Tribunal de Tesis, a la Dra. Gina Álvarez Responsable del Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, que con sus conocimientos y experiencia contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación.

A las autoridades del GAD-Municipal del Cantón Guano por la apertura y permitirme realizar esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a mi familia, a mis amigos y a las personas que han llegado a mi vida como grandes bendiciones.

Jessica Carolina Pérez Yambay.

Dedico este trabajo de investigación a mis Padres Jhon y María por ser fuente de amor, entrega, tenacidad, sacrificio y reflejo del infinito amor de Dios para nosotros.

A mis abuelitas Rosa Quezada y María Dolores Lema que han sido mi guía en todo momento y que ahora lo hacen desde el cielo. A mis tíos Carmen y Mario por ser mis ángeles aquí en la tierra y nunca dejarme sola.

Como no dedicar este trabajo a mi hermana Karina y a mis primos hermanos Gaby, Catherine, Sebastián, Andrés y a mis sobrinos Daniela y Samuel que han estado conmigo compartiendo alegrías y tristezas, aventuras y sueños.

A mis más grandes bendiciones mis amigas, amigos, familiares y personas que llegaron a mi vida como lucecitas de alegría, cariño, comprensión, consejo, apoyo, y sobre todo de amistad sincera y verdadera; para todos ustedes que Dios multiplique en sus vidas las bendiciones que ustedes me han brindado.

Alegría-alegría...

Jessica.

HOJA DE CERTIFICACIÓN

El tribunal de Tesis certifica que: La Tesis de Grado titulada “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LOS CALDEROS EN EL PARQUE ACUÁTICO LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO” de responsabilidad de Jessica Carolina Pérez Yambay ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Nancy Veloz DECANA FAC. CIENCIAS	-----	-----
Ing. Juan Ramos DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA	-----	-----
Ing. José Usiña DIRECTOR DE TESIS	-----	-----
Ing. Mónica Andrade MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----
NOTA DE TESIS	-----	

“Yo, JESSICA CAROLINA PÉREZ YAMBAY, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

JESSICA CAROLINA PÉREZ YAMBAY

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	I
SUMARY.....	II
INTRODUCCIÒN.....	III
ANTECEDENTES.....	V
JUSTIFICACIÒN.....	VII
OBJETIVOS.....	IX

CAPÍTULO I

MARCO TEÒRICO

1 AGUA.....	1
1.1 TIPOS DE AGUA DE ACUERDO A SU COMPOSICIÒN	2
1.2 IMPURESAS DEL AGUA.....	3
1.2.1 Efectos Generales de las Impurezas.....	3
1.3 LA CALDERA Y SU OPERACIÒN	5
1.3.1 CALDERA.....	5
1.3.1.1 Generalidades	6
1.3.1.2 Capacidad o Producciòn de la Caldera.....	6
1.3.1.3 Funcionamiento	7
1.3.1.4 Clasificaciòn de calderas	7
1.3.1.5 Condiciones de Operaciòn de una Caldera.....	10
1.3.1.6 Aplicaciones	11

1.4	INCONVENIENTES EN CALDERAS PRODUCTO DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA.	11
1.4.1	Embancamiento	11
1.4.2	Incrustaciones	12
1.4.2.1	Identificación de Tipos de Incrustación.	13
1.4.2.2	Consecuencias de las Incrustaciones	15
1.4.2.3	Remoción de Incrustaciones.....	17
1.4.2.4	Prevención contra la Incrustación.	18
1.4.3	Corrosión	19
1.4.3.1	Factores que provocan la Corrosión.	19
1.4.4	Fragilidad Cáustica	21
1.4.5	Espumado y Arrastre	21
1.5	CALIDAD DEL AGUA PARA CALDERAS	22
1.6	PARÁMETROS TRATAMIENTO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN..	25
1.6.1	Características físicas.....	26
1.6.1.1	pH.....	26
1.6.1.2	Turbidez.....	26
1.6.1.3	Conductividad.....	27
1.6.2	Características Químicas.....	27
1.6.2.1	Alcalinidad	27
1.6.2.2	Dureza.....	28
1.6.2.3	Calcio.....	29
1.6.2.4	Cloruros	29
1.6.2.5	Sulfatos	29
1.6.2.6	Hierro y cobre.....	30

1.6.2.7	Oxígeno	30
1.6.2.8	Dióxido de carbono	30
1.6.2.9	Fosfato	31
1.6.2.10	Sólidos disueltos totales	31
1.6.2.11	Sólidos en suspensión.....	31
1.6.2.12	Sílice.....	31
1.6.2.13	Índice de Estabilidad	32
1.7	TRATAMIENTOS PARA PURIFICAR EL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LAS CALDERAS.....	32
1.7.1	TRATAMIENTOS FÍSICOS:	33
1.7.1.1	Filtración.....	33
1.7.1.2	Desgasificación.....	35
1.7.1.3	Ósmosis Inversa.....	36
1.7.1.4	Extracciones o Purgas.....	37
1.7.2	TRATAMIENTOS QUÍMICOS:	38
1.7.2.1	REDUCTORAS DE DUREZA O ABLANDADORAS:.....	38
1.7.2.1.1	Ablandamiento con Cal.....	38
1.7.2.1.2	Ablandamiento con cal y sosa calcinada.....	39
1.7.3	INTERCAMBIO IÓNICO.....	41
1.7.3.1	RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO	45
1.7.3.1.1	Tipos de Resinas	48
1.7.3.2	PROPIEDADES	54
1.7.3.3	PROCESO DE ABLANDAMIENTO CON RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	57
1.7.3.3.1	CICLO DE SERVICIO	57
1.7.3.3.2	CICLO DE REGENERACIÓN	58

1.7.3.4	INHIBIDORES DE CORROSION:	59
1.7.3.5	INHIBIDORES DE FRAGILIDAD CAUSTICA:	59
1.7.3.6	INHIBIDORES DE ADHERENCIAS POR LODOS:	59
1.7.4	TRATAMIENTOS TÉRMICOS:	60
1.7.5	TRATAMIENTOS MIXTOS:	60
1.7.6	TRATAMIENTOS ELÉCTRICOS:	60
1.8	INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA	60
1.8.1	En el Rendimiento de la Caldera:	61
1.8.2	En la Seguridad:	61
1.9	DISEÑO	61
1.9.1	DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR CATIONICO	61
1.9.1.1	Determinación del Caudal de Alimentación para el Caldero	63
1.9.1.2	Determinación de los granos totales de Dureza a remover por día	64
1.9.1.3	Volumen de resina	65
1.9.2	Diseño del Tanque Intercambiador	65
1.9.2.1	Volumen del tanque intercambiador	66
1.9.2.2	Área del tanque intercambiador	66
1.9.2.3	Diámetro del tanque intercambiador	67
1.9.2.4	Altura del Tanque Intercambiador	67
1.9.2.5	Altura de Difusores	68
1.9.2.6	Caída de Presión del Tanque Intercambiador	68
1.9.2.7	Diseño Mecánico	70
1.9.2.7.1	Espesor de las Tapas Torio-esféricas	70
1.9.2.8	Diseño del Proceso de Regeneración	73
1.9.2.8.1	RETROLAVADO	73

1.9.2.8.2	CICLO DE REGENERACIÓN	76
1.9.2.8.3	Enjuague del Lecho de la Resina.	77
1.9.3	DISEÑO DE TANQUES PARA AGUA CRUDA, AGUA ABLANDADA, REGENERANTE, PRODUCTO QUÍMICO.	79
1.9.3.1	Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda.....	81
1.9.3.2	DISTRIBUIDORES DE SALMUERA	83
1.9.3.3	VÁLVULAS DE CONTROL	83

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2	MUESTREO	85
2.1.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	86
2.1.2	PROCEDIMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	86
2.1.2.1	Muestras representativas.	87
2.2	METODOLOGÍA	87
2.2.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	87
2.2.2	TRATAMIENTO DE MUESTRAS	88
2.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	88
2.3.1	MÉTODOS	88
2.3.2	TÉCNICAS	90
2.4	DATOS EXPERIMENTALES.....	103
2.4.1	DIAGNOSTICO	103
2.4.2	DATOS	103
2.4.2.1	Caracterización del Agua de Captación	103
2.4.2.2	Parámetros fuera de los Límites Permisibles.....	105

2.5	PRUEBAS DE TRATABILIDAD	107
2.5.1	ENSAYOS DE INTERCAMBIO IÓNICO EN COLUMNA	107
2.5.2	ADICIÓN DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL	114
2.5.2.1	Cálculo de diluciones primarias del producto TQ-SOFT-ADL al 5% y al 1%.	115
2.5.2.1.1	Cálculo de la dilución óptima del TQ-SOFT-ADL.....	117

CAPÍTULO III

DISEÑO

3	CÁLCULOS	122
3.1	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA. ...	122
3.1.1	Porcentaje de Remoción con el Tratamiento de Ablandamiento con la Resina Catiónica PUROLITE C – 100 E.....	122
3.1.2	Porcentaje de Remoción con el Tratamiento de Agua Ablandada más el Producto TQ-SOFT-ADL.	123
3.2	Determinación del Caudal de Alimentación para el Intercambiador Catiónico .	123
3.2.1	Caudal de Alimentación Total requerida por día.....	124
3.2.2	Determinación de los granos totales de Dureza a remover por día	125
3.2.3	Volumen de resina	126
3.2.4	Diseño del Tanque Intercambiador de Cationes	126
3.2.4.1	Volumen del tanque intercambiador	127
3.2.4.2	Área del tanque intercambiador.....	127
3.2.4.3	Diámetro del tanque intercambiador	128
3.2.4.4	Altura del Tanque Intercambiador.....	128
3.2.4.5	Altura de Difusores.....	129

3.2.4.6	Caída de Presión del Tanque Intercambiador.....	129
3.2.4.7	Diseño Mecánico	131
3.2.4.7.1	Espesor de las Tapas Torio-esféricas	131
3.2.4.7.2	Espesor del Falso Fondo	133
3.2.4.7.3	Deflexión del Falso Fondo	134
3.2.5	DISEÑO DEL PROCESO DE REGENERACIÓN.....	135
3.2.5.1	Retrolavado.....	135
3.2.5.2	Ciclo de Regeneración.....	137
3.2.5.3	Enjuague del lecho de la Resina.	139
3.2.6	DISEÑO DE TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA, AGUA ABLANDADA, REGENERANTE, PRODUCTO QUÍMICO.	141
3.2.6.1	Diseño del Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda.....	141
3.2.6.2	Tanque para el Agua Ablandada	144
3.2.6.3	Tanque para la Solución Regenerante	147
3.2.7	Diseño del Tanque para la Solución de ADL	150
3.3	RESULTADOS	153
3.3.1	Resultados Caudal de Alimentación para el Caldero.....	153
3.3.2	Resultados del Volumen de Resina Catiónica	153
3.3.3	INTERCAMBIADOR CATIONICO	154
3.3.3.1	Resultados Tanque Intercambiador de Cationes	154
3.3.3.2	PROCESO DE REGENERACIÓN.....	155
3.3.3.2.1	RESULTADOS RETROLAVADO.....	155
3.3.3.2.2	RESULTADOS CICLO DE REGENERACIÓN	155
3.3.4	TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA, AGUA ABLANDADA, REGENERANTE, PRODUCTO QUÍMICO.....	156
3.3.4.1	Resultados Tanque de Almacenamiento para Agua Cruda	156

3.3.4.2	Resultados Tanque de Agua Ablandada.....	157
3.3.4.3	Resultados Tanque de Solución Regenerante.....	158
3.3.4.4	Resultados Tanque para Solución de ADL	158
3.4	SITUACIÓN FINAL-RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA.....	161
3.5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	163
3.6	PROPUESTA DE DISEÑO DEL TRATAMIENTO PARA AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDEROS.	171

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

	Pp
Tabla 01. Capítulo 1. IMPURESAS MÁS COMUNES EN AGUAS DE ALIMENTACIÓN DE CALDEROS.....	4
Tabla 02. Capítulo 1. CLASES DE INCRUSTACIONES.....	12
Tabla 03. Capítulo 1. INCRUSTACIONES EN CALDERAS DE VAPOR.....	16
Tabla 04. Capítulo 1. PÉRDIDAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR INCRUSTACIONES.....	17
Tabla 05. Capítulo 1. CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CALDERAS.....	23
Tabla 06. Capítulo 1. LÍMITES DE CONTENIDO DE ELEMENTOS EN AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	24
Tabla 07. Capítulo 1. NORMA ESPAÑOLA (UNE EN-12953-10) PARA CALDERAS PIROTUBULARES.....	24
Tabla 08. Capítulo 1. REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA CALDERAS DE BAJA PRESIÓN.....	25
Tabla 09. Capítulo 1. RANGO DE ACIDEZ O ALCALINIDAD.....	26
Tabla 10. Capítulo 1. CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA POR LA ASTM.....	28

CAPÍTULO II

Tabla 01. Capítulo 2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS, STANDARD METHODS 2310 A Y B.....	86
---	----

Tabla 02. Capítulo 2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL AGUA.....	88
Tabla 03. Capítulo 2. TEMPERATURA – MÉTODO HACH*.....	91
Tabla 04. Capítulo 2. pH – STANDARD METHODS *4500 HB.....	92
Tabla 05. Capítulo 2. CONDUCTIVIDAD - STANDARD METHODS *2510.....	93
Tabla 06. Capítulo 2. TURBIDEZ - STANDARD METHODS *2130 B.....	94
Tabla 07. Capítulo 2. CLORUROS - STANDARD METHODS *4500 Cl B.....	95
Tabla 08. Capítulo 2. DUREZA – STANDARD METHODS *2340 B Y C.....	96
Tabla 09. Capítulo 2. CALCIO – STANDARD METHODS *3500 Ca.....	97
Tabla 10. Capítulo 2. MAGNESIO – STANDARD METHODS *3500 Mg.....	98
Tabla 11. Capítulo 2. ALCALINIDAD – STANDARD METHODS *2320 B.....	99
Tabla 12. Capítulo 2. SULFATOS – MÉTODO HACH*.....	100
Tabla 13. Capítulo 2. HIERRO – MÉTODO HACH*.....	101
Tabla 14. Capítulo 2. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS – MÉTODO HACH*.....	102
Tabla 15. Capítulo 2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA-ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA SUBTERRANEA “LANGOS”.....	104
Tabla 16. Capítulo 2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS FUERA DE NORMA.....	105
Tabla 17. Capítulo 2. CAPACIDAD DE LA RESINA PARA ABLANDAR.....	108
Tabla 18. Capítulo 2. INTERCAMBIO CATIONICO.....	109
Tabla 19. Capítulo 2. RESULTADOS DESPUÉS DEL INTERCAMBIO IÓNICO.....	112
Tabla 20. Capítulo 2. DILUCIÓN PRIMARIA DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL AL 5%.....	116

Tabla 21. Capítulo 2. DILUCIÓN PRIMARIA DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL AL 1%.....	116
Tabla 22. Capítulo 2. DILUCIÓN ÓPTIMA DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL AL 1%.....	117
Tabla 23. Capítulo 2. RESULTADOS DESPUÉS DEL INTERCAMBIO IÓNICO MÁS TQ-SOFT-ADL.....	119

CAPÍTULO III

Tabla 01. Capítulo 3. PÁRÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL CALDERO.....	123
Tabla 02. Capítulo 3. CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO.....	141
Tabla 03. Capítulo 3. MEDICIÓN DEL CAUDAL.....	142
Tabla 04. Capítulo 3. RESULTADOS CAUDAL DE ALIMENTACIÓN PARA EL CALDERO.....	152
Tabla 05. Capítulo 3. RESULTADOS VOLUMEN DE LA RESINA CATIONICA.....	153
Tabla 06. Capítulo 3. RESULTADOS TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES	153
Tabla 07. Capítulo 3. RESULTADOS RETROLAVADO.....	154
Tabla 08. Capítulo 3. RESULTADOS REGENERACIÓN.....	154
Tabla 09. Capítulo 3. RESULTADOS ENJUAGUE LENTO.....	155
Tabla 10. Capítulo 3. RESULTADOS ENJUAGUE RÁPIDO.....	155
Tabla 11. Capítulo 3. RESULTADOS TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA.....	156
Tabla 12. Capítulo 3. RESULTADOS TANQUE DE AGUA ABLANDADA.....	156

Tabla 13. Capítulo 3. RESULTADOS PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10%.....	157
Tabla 14. Capítulo 3. RESULTADOS TANQUE DE SOLUCIÓN REGENERANTE....	157
Tabla 15. Capítulo 3. RESULTADOS PREPARACIÓN SOLUCIÓN ADL AL 1%.....	158
Tabla 16. Capítulo 3. RESULTADOS TANQUE DE SOLUCIÓN ADL.....	158
Tabla 17. Capítulo 3. RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA AL FINAL.....	160
Tabla 18. Capítulo 3. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA DE LAS COLUMNAS DE INTERCAMBIO CATIONICO	174
Tabla 19. Capítulo 3. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE CLORURO DE SODIO.....	175
Tabla 20. Capítulo 3. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE ADL.....	176
Tabla 21. Capítulo 3. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA.....	177
Tabla 22. Capítulo 3. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA ABALNADADA.....	177
Tabla 23. Capítulo 3. COSTO TOTAL DE TANQUES Y COLUMNAS DE INTERCAMBIO.....	178
Tabla 24. Capítulo 3. COSTOS EQUIPO Y ACCESORIOS PARA CONEXIONES.....	178
Tabla 25. Capítulo 3. TOTAL DE LA INVERSIÓN.....	179
Tabla 26. Capítulo 3. GASTOS DE OPERACIÓN AL DÍA.....	179

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

	Pp
Figura 01. Capítulo 1. IMPUREZAS DEL AGUA.....	3
Figura 02. Capítulo 1. CALDERA.....	5
Figura 03. Capítulo 1. CALDERA PIROTUBULAR VERTICAL.....	9
Figura 04. Capítulo 1. CALDERA ACUATUBULAR.....	10
Figura 05. Capítulo 1. INCRUSTACIONES EN CALDERA DE VAPOR.....	13
Figura 06. Capítulo 1. INCRUSTACIONES EN TUBERÍAS.....	13
Figura 07. Capítulo 1. INCRUSTACIONES Y ROTURAS DE TUBOS.....	15
Figura 08. Capítulo 1. TIPOS DE ATAQUES DEL METAL EN UNA CALDERA.....	19
Figura 09. Capítulo 1. CORROSIÓN POR LOS GASES DE COMBUSTIÓN.....	20
Figura 10. Capítulo 1. CORROSIÓN PROVOCADA POR BAJO pH.....	21
Figura 11. Capítulo 1. FILTRO LENTO DE ARENA.....	34
Figura 12. Capítulo 1. FILTRO RÁPIDO DE ARENA.....	34
Figura 13. Capítulo 1. TANQUE DESAIREADOR.....	36
Figura 14. Capítulo 1. OSMOSIS INVERSA.....	37
Figura 15. Capítulo 1. EQUIPO DE ABLANDAMIENTO QUÍMICO.....	41
Figura 16. Capítulo 1. ESQUEMA DE UN EQUIPO DE ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IÓNICO.....	44
Figura 17. Capítulo 1. RESINA OBSERVADA EN EL MICROSCOPIO.....	45

Figura 18. Capítulo 1. AGOTAMIENTO Y REGENERACIÓN DE LA RESINA.....	46
Figura 19. Capítulo 1. REACCIÓN DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	47
Figura 20. Capítulo 1. CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS POR SU GRUPO FUNCIONAL.....	50
Figura 21. Capítulo 1. CICLO DE SERVICIO DEL ABLANDADOR.....	58
Figura 22. Capítulo 1. CAIDA DE PRESIÓN vs VELOCIDAD DE FLUJO.....	69
Figura 23. Capítulo 1. DISEÑO MECÁNICO DEL TANQUE INTERCAMBIADOR....	70
Figura 24. Capítulo 1. FALSO FONDO.....	71
Figura 25. Capítulo 1. LAVADO DE EXPANSIÓN.....	74

CAPÍTULO II

Figura 01. Capítulo 2. ENSAYO DEL ABLANDAMIENTO DE AGUA UTILIZANDO RESINA IÓNICA.....	111
Figura 02. Capítulo 2. ENSAYOS CON EL PRODUCTO TQ-SOFT- ADL.....	114

CAPÍTULO III

Figura 01. Capítulo 3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	161
Figura 02. Capítulo 3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUA DE LOS CALDEROS.....	165
Figura 03. Capítulo 3. DIAGRAMA INGENIERIL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	173

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO II

	Pp
Gráfico 01. Capítulo 2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS FUERA DE NORMA....	106
Gráfico 02. Capítulo 2. PUNTO DE SATURACIÓN DE LA RESINA.....	108
Gráfico 03. Capítulo 2. % SOLUCIÓN NaCl vs DUREZA.....	110
Gráfico 04. Capítulo 2. PESO DE RESINA vs DUREZA.....	110
Gráfico 05. Capítulo 2. PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA Y ABLANDADA.....	113
Gráfico 06. Capítulo 2. PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS DEL ABLANDADA MÁS TQ-SOFT-ADL.....	120

CAPÍTULO III

Gráfico 01. Capítulo 3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA.....	163
Gráfico 02. Capítulo 3. DUREZA AGUA CRUDA Y DUREZA AGUA ABLANDADA.....	165
Gráfico 03. Capítulo 3. DUREZA AGUA CRUDA Y DUREZA AGUA ABLANDADA + ADL.....	165
Gráfico 04. Capítulo 3. DUREZA AL INICIO, DESPUÉS DEL ABLANDAMIENTO Y MÁS EL ADL.....	166
Gráfico 05. Capítulo 3. PORCENTAJES DE REMOCIÓN.....	167

Gráfico 06. Capítulo 3. DUREZA AL FINAL DEL TRATAMIENTO.....	168
Gráfico 07. Capítulo 3. CALCIO AL FINAL DEL TRATAMIENTO.....	168
Gráfico 08. Capítulo 3. MAGNESIO AL FINAL DEL TRATAMIENTO.....	169
Gráfico 09. Capítulo 3. pH AL FINAL DEL TRATAMIENTO.....	169
Gráfico 10. Capítulo 3. BICARBONATOS AL FINAL DEL TRATAMIENTO.....	170
Gráfico 11. Capítulo 3. SULFATOS AL FINAL DEL TRATAMIENTO.....	170

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	NORMA TÉCNICA ESPAÑOLA UNE 9-075-92
ANEXO B	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA
ANEXO C	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA POR INTERCAMBIO CATIONICO
ANEXO D	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA CON INTERCAMBIO CATIONICO MAS TQ-SOFT-ADL
ANEXO E	HOJA TÉCNICA DE RESINA CATIONICA PUROLITE C-100
ANEXO F	BOLETÍN TECNICO DE TQ-SOFT-ADL
ANEXO G	CLORURO DE SODIO (SAL EN GRANO)
ANEXO H	ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDEROS
ANEXO I	TANQUE ABLANDADOR-INTERCAMBIADOR IÓNICO
ANEXO J	ESQUEMA DEL FLUJO DE SERVICIO- AGUA CRUDA
ANEXO K	ESQUEMA DE FASE DE RETOLAVADO.
ANEXO L	ESQUEMA DE FASE ENGAJUE LENTO
ANEXO M	ESQUEMA DE FASE ENGAJUE RÁPIDO
ANEXO N	ESQUEMA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA
ANEXO O	ESQUEMA DEL TANQUE DE AGUA ABLANDADA.
ANEXO P	ESQUEMA DE LOS TANQUE DE SOLUCIONES
ANEXO Q	PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE CALDEROS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

h_{di}	Altura de Difusores intermedios
h_{Ti}	Altura del tanque Intercambiador
$A_{T-ablandada}$	Área del Tanque de Agua Ablandada
A_{Ta}	Área del Tanque de Agua Cruda
A_{T-NaCl}	Área del Tanque de Cloruro de Sodio
A_{Ti}	Área del Tanque Intercambiador de Cationes
A_{T-ADL}	Área del Tanque de la Solución de ADL
ΔP	Caída de Presión
$Q_{H_2O\ ablandada}$	Caudal de Agua Ablandada
Q_C	Caudal de Alimentación para el Caldero
Q	Caudal de Alimentación Total por día
Q_{comp}	Caudal de Compactación
Q_{enj-l}	Caudal de Enjuague Lento
Q_{enj-r}	Caudal de Enjuague Rápido
Δ	Deflexión del Falso Fondo
$D_{T-ablandada}$	Diámetro del Tanque de Agua Ablandada
D_{Ta}	Diámetro del Tanque de Agua Cruda
D_{T-NaCl}	Diámetro del Tanque de Cloruro de Sodio
D_i	Diámetro del Tanque Intercambiador

D_{T-ADL}	Diámetro del Tanque de la Solución de ADL
t_f	Espesor del Falso Fondo
E_t	Espesor de Tapas Torio-Esféricas
gal/h	Galones por hora
gal/día	Galones por día
Kg	Kilogramos
KPa/m	Kilo Pascal por metro
L	Litros
L/día	Litros por día
L/h	Litros por hora
L/s	Litros por segundo
psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
$L_{T-ablandada}$	Longitud envolvente (altura) Tanque de Agua Ablandada
L_{Ta}	Longitud envolvente (altura) del Tanque de Agua Cruda
L_{T-NaCl}	Longitud del envolvente (altura) del Tanque de Cloruro de Sodio
L_{T-ADL}	Longitud del envolvente (altura) de la Solución de ADL
m_{NaCl}	Masa del Cloruro de Sodio
m_{resina}	Masa de la Resina
m	Metros
m/h	Metros por hora
m/min	Metros por minuto

m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
$m^3/\text{día}$	Metros cúbicos por día
m^3/h	Metros cúbicos por hora
m^3/min	Metros cúbicos por minuto
m^3/s	Metros cúbicos por segundo
min	Minutos
P	Presión de tapas torio-esféricas
plg	Pulgadas
ft^3	Pies cúbicos
$R_{T\text{-ablandada}}$	Radio del tanque de Agua Ablandada
R_{Ta}	Radio del Tanque de Agua Cruda
$R_{T\text{-NaCl}}$	Radio del Tanque de Cloruro de Sodio
r	Radio de las tapas torio-esféricas
$R_{T\text{-ADL}}$	Radio del tanque de la Solución de ADL
$t_{enj\text{-l}}$	Tiempo de enjuague lento
$t_{enj\text{-r}}$	Tiempo de enjuague rápido
t_{reg}	Tiempo de regeneración
V_{comp}	Velocidad de Compactación
$V_{enj\text{-l}}$	Velocidad de enjuague lento
$V_{enj\text{-r}}$	Velocidad de enjuague rápido

V_{reg}	Velocidad de regeneración
$V_{retrolavado}$	Velocidad de Retrolavado
$V_{T-ablandada}$	Volumen del Tanque de Agua Ablandada
V_{Ta}	Volumen del Tanque de Agua Cruda
V_{T-NaCl}	Volumen Tanque de la Solución de Cloruro de Sodio
V_{Ti}	Volumen del Tanque Intercambiador
V_{T-ADL}	Volumen Tanque de la Solución de ADL
$V_{H_2O\ ablandada}$	Volumen del Agua Ablandada
V_{1-H_2O}	Volumen de Agua Enjuague Lento
V_{2-H_2O}	Volumen de Agua Enjuague Rápido
$V_{H_2O\ cruda}$	Volumen de Agua Cruda al día
V_{comp}	Volumen de Compactación
$V_{NaCl\ 10\%}$	Volumen de Cloruro de Sodio
V_r	Volumen de Resina Catiónica
$V_{ADL\ 1\%}$	Volumen de la Solución de ADL

RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento para el agua de alimentación a los calderos en el parque acuático los Elenes del Cantón Guano, con la finalidad de ofrecer agua de calidad para mejorar y asegurar la eficiencia en el proceso de producción de vapor utilizado para calentar el agua de la piscina semi olímpica.

Mediante el método experimental, se realizó 5 caracterizaciones físico-químicas al agua de alimentación de los calderos, efectuándose un análisis in situ con la utilización de equipos portátiles digitales, pruebas instrumentales por colorimetría y espectrofotometría, en el laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; establecidos por el Estándar Métodos, y el Manual de Procesos (HACH). Se determinó 4 parámetros fuera de las normas: pH 6,74, dureza 548,8 mg/L, bicarbonatos 318,2 mg/L y los sulfatos 636,6 mg/L. En base a estos resultados se plantea un sistema de ablandamiento, obteniendo valores de: pH 8,08, dureza < 4 mg/L, bicarbonatos 160 mg/L, y sulfatos 188 mg/L, ubicándolas dentro de las especificaciones establecidas por las normas American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Una Norma Española (UNE 9 075 92 3R /) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004) para la calidad de agua de calderas a baja presión.

Se concluye que el sistema de tratamiento de agua para calderos, constará de un tanque de almacenamiento de agua cruda, dos intercambiadores catiónicos en paralelo, un tanque para la recepción del agua ablandada, un tanque para la solución regenerante y otro para la solución del producto químico ADL que le dará las condiciones óptimas al final del tratamiento.

Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano la implementación del sistema de tratamiento para agua de alimentación de los calderos, para garantizar que los bañistas tengan agua lo suficientemente temperada.

Palabras claves: <CALDEROS PARQUE ACUÁTICO>, <INTERCAMBIADOR>, <DUREZA DEL AGUA>, <SOLUCIÓN REGENERANTE>, <AGUA ABLANDADA>, <EFICIENCIA DE CALDEROS>, <PARQUE ACUÁTICO LOS ELENES>

SUMMARY

A design of a treatment system for the water that supplies the boilers in the Los Elenes Water Park from Guano Canton has been carried out. The objective is to offer quality water in order to improve and ensure efficiency in the production process of the steam which is used to warm up their semi Olympic swimming pool.

By using the experimental method, five physical-chemical characterizations were done to the boiler supply water. An analysis in situ was performed by using the portable digital equipment, and the colorimetry and the spectrophotometry were done at the Technical Analysis Laboratory located at the Science Faculty, of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Higher Education Polytechnic School of Chimborazo). The analyses were established by the Standard Methods and the Process Handbook (HACH).

Four parameters were outside the rules: pH 6.74, hardness 548.8 mg/L, bicarbonates 318.2 mg/L, and sulphates 636.6 mg/L. Based on this study, a softening system is applied obtaining the following results: pH 8.08, hardness < 4 mg/L, bicarbonates 160 mg/L, and sulphates 188 mg/L. These specifications are within the ones established by the American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), the American Society of Mechanical Engineering (ASME), the A Spanish Norm (UNE 9 075 92 3R /) and the Environmental Protection Agency (EPA/625/R-92/004); all these are established for the water quality in low pressure boilers.

As a conclusion, the treatment system for the water that supplies the boilers will have a storage tank for raw water, two parallel cationic interchange stations, a reception tank for softened water, a tank for regenerating solution, and another for the solution of chemical product called ADL which will foster the optimal conditions at the end of the treatment.

It is recommended that the Local Municipal Government in Guano (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano) implement the treatment system for the water that supplies the boilers in order to guarantee that the swimmers have the adequate temperate water.

Key words: <WATER PARK BOILER>, <INTERCHANGE STATION>, <WATER HARDNESS>, <REGENERATING SOLUTION>, <SOFTENED WATER>, <BOILER EFFICIENCY>, <LOS ELENES WATER PARK>

INTRODUCCIÓN

El tratamiento del agua de una caldera de vapor o agua caliente es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes. Para poder entender la importancia de la calidad del agua de alimentación de calderas, debemos conocer las características del agua, y las necesidades específicas que debe tener para ser usada en una caldera.

El agua que encontramos en la naturaleza sirve para un sin fin de cosas, como por ejemplo para los procesos industriales. Como el agua es un compuesto contiene impurezas, y para poder ocupar esta agua natural en la caldera debe someterse a diferentes procesos o tratamientos dependiendo de los contaminantes encontrados en mayor cantidad en el agua, el tipo de caldera, la presión de operación y el tipo de ciclo del agua-vapor en el proceso.

La característica principal del tratamiento del agua, es que al cumplir con esto la caldera logra los objetivos esperados en el ámbito de producción, económico y además no pierde su vida útil tan pronto. Las razones por las que se debe hacer este tratamiento es porque de lo contrario se pueden presentar problemas serios al interior de las calderas, los problemas más frecuentes pueden dividirse en dos: el corrosivo, y el de incrustación. Existe un tercero pero es menos frecuente, este es el de ensuciamiento y/o contaminación.

Debido a que en el Parque Acuático Los Elenes del Cantón Guano no cuenta con un tratamiento para el agua de alimentación de los calderos se ha constituido un problema crítico en el aspecto operacional del sistema de calefacción y en el aspecto económico.

Para ello se partirá de análisis in situ y experimentales a nivel de laboratorio, permitiendo hacer un diagnóstico de los equipos, líneas de conducción y accesorios. Con esta información y cálculos posteriores se ejecuta soluciones inmediatas y de emergencia, mediante la implementación de un tratamiento anticorrosivo y anti-incrustante que ayudará a reducir dichos problemas al mínimo.

La Ingeniería Química nos permite desarrollar un rol importante dentro de esta área, debido a que se requiere de procesos, equipos, y operaciones unitarias, las mismas que serán aplicadas para el mejoramiento y aseguramiento del funcionamiento de las calderas

de este centro turístico, ya que con un buen diseño y aplicación de un programa de tratamiento de agua lograremos garantizar la eficiencia, seguridad y durabilidad del sistema y economía siendo un beneficio para la institución.

ANTECEDENTES

El Parque Acuático Los Elenes es una de las principales atracciones turísticas del Cantón Guano Provincia de Chimborazo, situado a dos kilómetros de la cabecera cantonal en dirección sureste sector Santa Teresita. Desde la ciudad de Riobamba se encuentra a una distancia aproximada de ocho kilómetros.

La ubicación del Parque Acuático Los Elenes es de 2608 msnm, cuenta con vertientes de agua que brotan de la peña de Langos, las mismas que presentan entre sus características principales una temperatura entre los 20 y 22 °C, y se las considera como aguas curativas debido al alto porcentaje de minerales radioactivos debido a que estas aguas atraviesan grandes yacimientos subterráneos de minerales.

Es un centro recreativo que cuenta con una amplia gama de atracciones como la piscina de olas artificiales, la piscina con juegos interactivos para niños, piscinas con toboganes curvos y rectos tipo kamikaze, la piscina semi-olímpica cubierta con agua temperada, además del hidromasaje, sauna, turco y polar; una piscina con plataforma, entre otras.

Todas estas atracciones ocupan una área de terreno de aproximadamente 40.000 metros cuadrados y tiene una capacidad de atención de 3.000 turistas simultáneamente. Su horario de atención es de Martes a Domingo y feriados de 8:00 AM a 18:00 PM.

La producción del vapor necesario para las diferentes operaciones que requiere el Parque Acuático Los Elenes cuenta con dos Caldera en paralelo de tipo Pirotubular, la misma que viene operando desde el año de 2010, durante este tiempo se desconoce la ejecución de un plan adecuado para el manejo y el mantenimiento del equipo.

Debido a la falta de una apropiada infraestructura y la inexistencia de una planificación para un tratamiento idóneo del agua de alimentación para los calderos, estos se ha ido deteriorando con el tiempo, actualmente el sistema en paralelo de los calderos funciona a media capacidad debido a que uno de ellos se encuentra fuera de operación, constituyéndose un sistema de calentamiento ineficiente y por tanto el rendimiento del equipo ha disminuido notablemente.

Desde el punto de vista técnico y económico, la formación de incrustaciones o un proceso de corrosión son un problema que afecta de una u otra manera a las industrias, pues todos los medios son en algún grado corrosivos y deben ser vistos como un hecho que pone en evidencia el proceso natural de que los metales vuelven a su condición original y con ello conlleva al deterioro del mismo, provocando muchas consecuencias a mediano y largo plazo como son: la falla prematura de los elementos de las maquinas, disminución de la resistencia mecánica de las piezas, fallas de plantas industriales, gastos innecesarios, etc.

De igual manera las incrustaciones que se forman sobre el sistema de calefacción y las partes que lo conforman disminuyen notablemente la eficiencia de operación del mismo, causando graves problemas a la empresa o industria ya que implica gastos que podrían ser disminuidos con un correcto tratamiento del agua de alimentación para calderas o sistemas de calefacción, conjuntamente con el mantenimiento adecuado de dicho sistema.

JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua de alimentación a la caldera repercute directamente sobre el buen funcionamiento de la misma, así como sobre la vida de muchos de los elementos que forman el equipo generador de vapor, hay que considerar que el agua viene con impurezas sólida e impurezas diluidas como es el caso de sales y minerales que le dan la característica de dureza y son perjudiciales ya que estas sales producen las denominadas incrustaciones en el interior de la caldera o en las mismas tuberías y la corroen disminuyendo su vida útil.

El agua nunca se encuentra pura y los elementos que contiene pueden reducir la eficiencia de la caldera de un 10 a 12% por problemas de incrustaciones en la superficie de calefacción. De acuerdo a los análisis realizados al agua de la red pública que se utiliza para alimentar las calderas demuestra que el agua es de carácter incrustante y que requiere con gran urgencia que se realice un tratamiento debido que ha afectado agresivamente al sistema de calefacción y a sus componentes.

Tan solo en cuatro años de su funcionamiento, su rendimiento ha disminuido notablemente debido al problema que presenta el agua de alimentación, siendo así que ya ha dejado fuera de operación a uno de los calderos que se encontraba conectado en paralelo.

Considerando lo anterior descrito, esta investigación busca el aseguramiento de la calidad del agua de alimentación para las calderas del Parque Acuático Los Elenes del Cantón Guano, a través del cumplimiento de los requerimientos del agua para poder ser utilizada en estos sistemas de generación de vapor.

Basándose en las normas que definen los parámetros involucrados en el tratamiento del agua como son los recomendados por la American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Norma Española (UNE 9-075-92) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004). Conjuntamente con el aseguramiento del agua se logrará aumentar el rendimiento del caldero y un ahorro económico significativo para la institución.

Poniendo de manifiesto la preocupación del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano, en la importancia que tiene el Diseño de un Sistema de Tratamiento del agua

para alimentar los calderos ya que con ello lograremos aumentar la vida útil, el rendimiento y la seguridad en la operación de las calderas, ahorrando energía, costes excesivos de agua, combustible, mantenimiento o sustitución completa de sistema de generación de vapor.

OBJETIVOS

GENERAL

- ✓ Diseñar un Sistema de Tratamiento para el agua de alimentación a los calderos en el Parque Acuático Los Elenes del Cantón Guano.

ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar la fuente de abastecimiento de agua que es provista para la alimentación de las calderas.
- ✓ Determinar las variables de diseño que presidirán el sistema de tratamiento del agua de alimentación para los calderos.
- ✓ Caracterizar el agua tratada con la implementación del sistema de tratamiento.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1 AGUA

EL agua es un recurso natural utilizado como fuente de abastecimiento para una población o como fluido de trabajo en sistemas de vapor, entre otras aplicaciones o usos.

✓ **Agua cruda o en estado natural (Sin Tratamiento)**

Se encuentra en el ambiente, como la lluvia, agua superficial, subterránea, océanos, entre otros, es aquella que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural.

✓ **Agua tratada**

Se conoce como agua tratada a aquella en la cual sus características físicas, químicas y biológicas han sido cambiadas dependiendo el uso que se le vaya a dar.

1.1 TIPOS DE AGUA DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN

El agua nunca se encuentra en estado puro, puede presentar turbidez, materia sólida en suspensión, gran cantidad de sales disueltas dependiendo el lugar de origen.

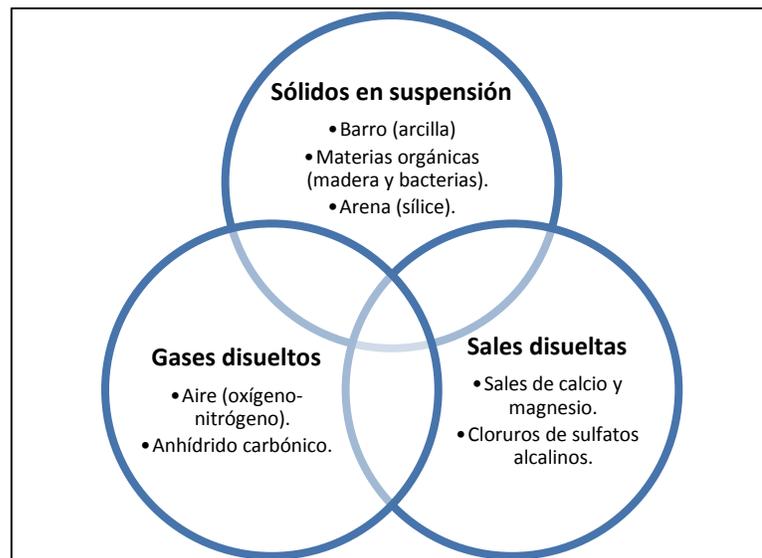
Según la composición y de sales minerales presentes, existen:

- ✓ **Aguas duras:** Significativa presencia de compuestos de calcio y magnesio, son poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.
- ✓ **Aguas Blandas:** En su composición principal presenta sales minerales de gran solubilidad.
- ✓ **Aguas Neutras:** El valor del pH se mantiene constante, aun teniendo altas concentraciones de sulfatos y cloruros, no presenta tendencias ácidas o alcalinas.
- ✓ **Aguas Alcalinas:** El valor del pH se ve afectado producto de una reacción alcalina debido a que contiene grandes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio.
- ✓ **Aguas Ácidas:** El carácter ácido que presentan estas aguas se debe a la disociación del ácido carbónico en ion bicarbonato y en ion hidrógeno proveniente del gas carbónico al reaccionar con el agua.

1.2 IMPURESAS DEL AGUA

Dependiendo del lugar de procedencia del agua cruda, natural o sin tratamiento, trae consigo impurezas y se pueden clasificar en:

Figura 01. IMPURESAS DEL AGUA



Fuente: Agua de alimentación de calderas- ACHS www.achs.cl/portal/trabajadores/.../agua-de-alimentación-de-calderas.pdf

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

1.2.1 Efectos Generales de las Impurezas

De acuerdo a la cantidad de impurezas que presente el agua y el uso al que esté destinado, ya sea este potable, industrial, recreativo, u otros, puede originar daños en los sistemas.

Cuando el uso del agua es para industria, alimentación de calderos u otros procesos, al ingresar en estado natural puede dañar con rapidez el acero y metales a base cobre de los sistemas de vapor, estas impurezas puede provocar en los sistemas de vapor o calefacción:

- Sobrecalentamiento que provocarán deformaciones altamente peligrosas, debido a los depósitos fangosos producto de la presencia de barro y otros sólidos que se depositan en el fondo de la caldera.
- Dentro de los tubos o superficies más calientes, sales de calcio y magnesio disueltas en el agua se adhieren y forman incrustaciones que son costras duras que entorpecen la transmisión de calor, provocando sobrecalentamiento y posibles explosiones.

Tabla 01. IMPUREZAS MÁS COMUNES EN AGUAS DE ALIMENTACIÓN DE CALDEROS

Nombre	Fórmula	Nombre común	Efecto que provoca
Bicarbonato de calcio	Ca(HCO ₃) ₂	-----	Incrustación
Bicarbonato de magnesio	Mg(HCO ₃) ₂	-----	Incrustación Corrosión
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	-----	Espumado
Carbonato de calcio	CaCO ₃	Caliza o cal	Incrustación
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	Sosa común	Alcalinidad
Cloruro de calcio	CaCl ₂	-----	Corrosión
Cloruro de magnesio	MgCl ₂	-----	Corrosión
Cloruro de sodio	NaCl	Sal común	Electrólisis
Dióxido de silicio	SiO ₂	Sílice	Incrustación
Hidróxido de magnesio	Mg(OH) ₂	-----	Incrustación
Hidróxido de sodio	NaOH	Sosa cáustica	Cristalización
Sulfato de calcio	CaSO ₄	Yeso de París	Incrustación
Sulfato de magnesio	MgSO ₄	Sales Epsom	Incrustación
Sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	Sales Glauber	Incrustación

Fuente: http://www.mujeremprende.org/guias_ee/Tratamiento_de_agua_v1_1.pdf

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

1.3 LA CALDERA Y SU OPERACIÓN

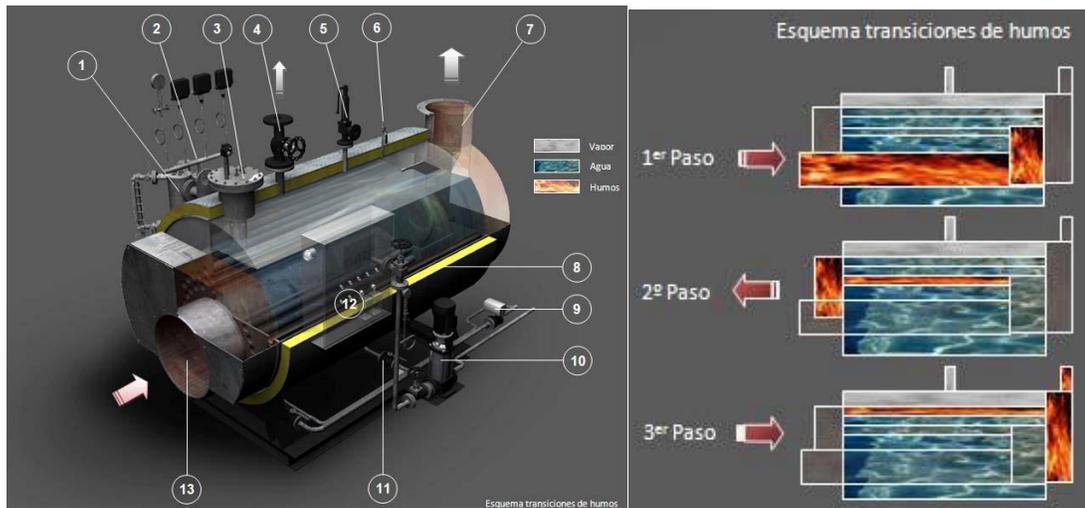
1.3.1 CALDERA

“Una caldera es un recipiente a presión cerrado, en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) o por la utilización de la energía nuclear o eléctrica.” (KOHAN, 2000)

El vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Las calderas de vapor se utilizan en la mayoría de industrias debido a que muchos procesos emplean grandes cantidades de vapor.

Figura 02. CALDERA



Fuente: <http://hdl.handle.net/123456789/3213>

1.3.1.1 Generalidades

La caldera debe mantener un trabajo con presión constante, para lo cual debe ser apta para:

- ✓ “Generar energía calorífica suficiente en la combustión del fuel-oil o del gas con el aire.
- ✓ En base a la norma el nivel de agua debe encontrarse dentro de los límites permisibles, desde el punto de vista de seguridad.
- ✓ Se debe asegurar y garantizar una llama segura en la combustión.
- ✓ El sistema de control debe ser seguro en la puesta en marcha, en la operación y en el paro de la caldera.
- ✓ El funcionamiento de la caldera debe ser optimizado para lograr una rentabilidad y economía adecuadas, lo cual es posible con un control digital y distribuido que permite optimizar la combustión (ahorros del 2% al 10% en combustible) y ganar en seguridad”. (CREUS, 2011)

1.3.1.2 Capacidad o Producción de la Caldera

“La capacidad o potencia de caldera puede expresarse en HP (caballos), kg/hora (o lb/h), kcal/h (BTU/h). Un caballo de caldera (HP de caldera) se define como la evaporación en términos de vapor saturado seco de 34,5 lb/h de agua (15,65 kg/h) a temperatura de 100°C (212°F)”. (KOHAN, 2000)

Hoy en día la capacidad de producción de las calderas grandes está establecida en tantos kg/h de vapor o BTU/h (kcal/h) o megavatios de potencia producida.

El término superficie de calefacción se usa también para definir o cifrar la capacidad de una caldera. La superficie de calefacción de una caldera es el área, expresada en metros cuadrados (o ft²) que está expuesta a los productos de combustión.

1.3.1.3 Funcionamiento

Las calderas funcionan mediante la transferencia de calor, originado al quemarse un combustible, y ese calor se entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálico.

En toda caldera se distinguen dos zonas importantes:

- a) Zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión: que es el lugar donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico.

- b) Zona de tubos: Es donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases - agua). El agua o los humos pueden circular dentro de los tubos dependiendo el diseño.

1.3.1.4 Clasificación de calderas

Se clasifican de acuerdo al mayor uso que se les da en:

- a. **De acuerdo a su posición:** Horizontales o verticales

- b. **A su instalación:** Fija o estacionaria y Móviles o portátiles

- c. **Con su forma de calefacción:**

- Con tubos múltiples de humo (igneotubulares o pirotubulares)
- Con tubos múltiples de agua (hidrotubulares o acuotubulares)
- Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo (acuopirotubular o mixtas)

d. De acuerdo a la presión del vapor que producen:

- De baja presión (hasta 2,0 kg/cm²)
- De mediana presión (sobre 2,0 kg/cm² hasta 10 kg/cm²)
- De alta presión (sobre 10 kg/cm² hasta 225 kg/cm²)
- Supercríticas (sobre 225 kg/cm²)

e. Según su utilización:

- De vapor
- De agua caliente

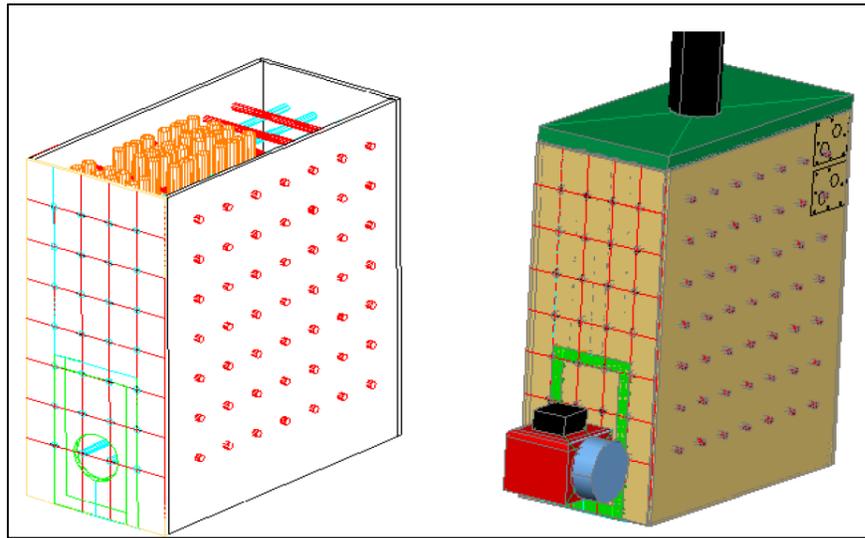
Existen una infinidad de calderas que han sido diseñadas de acuerdo a las necesidades que se presentan con el pasar del tiempo. Las calderas que más se utilizan son:

✓ **Pirotubulares o de Tubos de Humos**

En estas calderas, los humos pasan dentro de los tubos, cediendo su calor al agua que los rodea. Se las denomina también como igneotubulares y pueden ser verticales u horizontales. Entre las calderas verticales pueden encontrarse dos tipos con respecto a los tubos: presentándose de tubos semi-sumergidos y de tubos totalmente sumergidos.

Las calderas horizontales presentan tubos múltiples de humo, hogar interior y retorno simple o doble retorno son las llamadas calderas escocesas y son las más empleadas.

Figura 03. CALDERA PIROTUBULAR VERTICAL



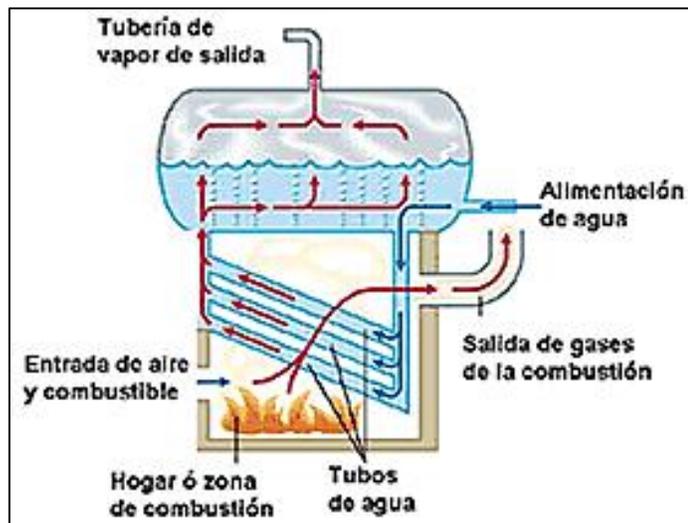
Fuente: PÉREZ, Jessica C.

✓ Acuotubulares o de Tubos de Agua

El agua circula por dentro de los tubos, captando calor de los gases calientes que pasan por el exterior. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son empleadas cuando se requiere obtener elevadas presiones y rendimiento.

La circulación del agua, en este tipo de caldera, alcanza velocidades considerables con lo que se consigue una transmisión eficiente del calor, se eleva la capacidad de producción de vapor.

Figura 04. CALDERA ACUATUBULAR



Fuente: http://www.inpsasel.gob.ve/moo_news/Prensa_299.html

1.3.1.5 Condiciones de Operación de una Caldera

Las condiciones de operación de una caldera nos ayudan a determinar el tratamiento adecuado que se debe aplicar al agua, y está conformado por el circuito completo de generación de vapor:

- ✓ Presión de trabajo.
- ✓ Horas de trabajo diario.
- ✓ Presencia o ausencia de unidades de tratamiento externo (suavizadores, desmineralizadores, desaireadores, desgasificadores.)
- ✓ Aplicación del vapor.
- ✓ Existencia o no de retorno de condensado.
- ✓ Caballaje de la caldera en HP.

Una condición importante es determinar el valor de la presión antes de recomendar un tratamiento, debido a que a mayor presión de trabajo se corre mayor riesgo de corrosión cáustica, significando que el metal estará sometido a altas temperaturas y una gran tensión.

Cada industria tiene requerimientos concretos de vapor, por consiguiente la caldera trabaja con tiempo variable, limitando el consumo de químicos ya que será distinta para todos los casos, a menor tiempo de trabajo de la caldera menor consumo de productos.

1.3.1.6 Aplicaciones

El vapor de agua tiene una infinidad de aplicaciones y por lo tanto el uso de calderas y generadores de vapor son muy utilizadas en la industria alimentaria, industria del caucho, valorización de residuos y reciclaje, plásticos, lavanderías, farmacéutica, producción de biocombustibles, química, papel y cartón, industria del metal, construcción, prefabricados de hormigón, cerámicas, para calentamiento de agua de piscinas, climatización.

1.4 INCONVENIENTES EN CALDERAS PRODUCTO DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA.

Los inconvenientes del agua de calderas pueden producir incrustaciones, corrosión, natas y espumas, arrastres, corrosión por tensiones y fragilidad en la caldera o en la maquinaria conectada que use vapor.

1.4.1 Embancamiento

El embancamiento suelen producirse rápidamente debido a que se deposita el barro y la sílice ayudados por algunas sales disueltas, en el fondo de la caldera, dificultando o

impidiendo la libre circulación y salida del agua. Estas impurezas deben ser retiradas casi en su totalidad antes del ingreso a la caldera, sometiéndolas a un proceso de filtración.

1.4.2 Incrustaciones

“La incrustación se define como un depósito adherente sobre la superficie de transferencia térmica en el lado de agua de las calderas producido por las siguientes impurezas sedimentables o cocidas sobre la superficie de calefacción” (KOHAN, 2000):

Tabla 02. CLASES DE INCRUSTACIONES

Incrustación Dura	Incrustación Blanda	Formador de incrustación o corrosión
Sulfato cálcico Silicato cálcico Silicato magnésico Sílice	Bicarbonato cálcico Carbonato cálcico Hidróxido cálcico Bicarbonato magnésico Carbonato magnésico Hidróxido magnésico Fosfato cálcico Carbonato de hierro Óxido de hierro	Nitrato cálcico Cloruro cálcico Cloruro magnésico Sulfato magnésico Nitrato de magnesio Alúmina Silicato sódico

Fuente: KOHAN, Lawrence Anthony. *Manual de Calderas.*

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Los aceites, las grasas y la materia en suspensión son sustancias con efectos diversos sobre las superficies de transferencia térmica. El tercer grupo de impurezas no puede causar incrustación por sí mismo. Se direccionan más a producir corrosión que incrustación.

Figura 05. INCRUSTACIONES EN CALDERAS DE VAPOR



Fuente: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>

1.4.2.1 Identificación de Tipos de Incrustación.

Existen costras de diferentes consistencias que pueden aparecer en una caldera y requieren análisis químicos posteriores para su identificación. Las incrustaciones aquí descritas muestran las características de los diferentes tipos que puedan hallarse en calderas.

Figura 06. INCRUSTACIONES EN TUBERÍAS



Fuente: <http://fomento.gobex.es/fomento/live/informacionciudadano/Arquitectura/Documentacion/patologiasidrosanitarias.pdf>

- ✓ **Sulfato de calcio:** Origina una costra muy dura que se adhiere tenazmente a las superficies calefactoras. Esta incrustación se considera la peor a causa de su dureza extrema, la dificultad en su eliminación y su baja conductividad térmica.

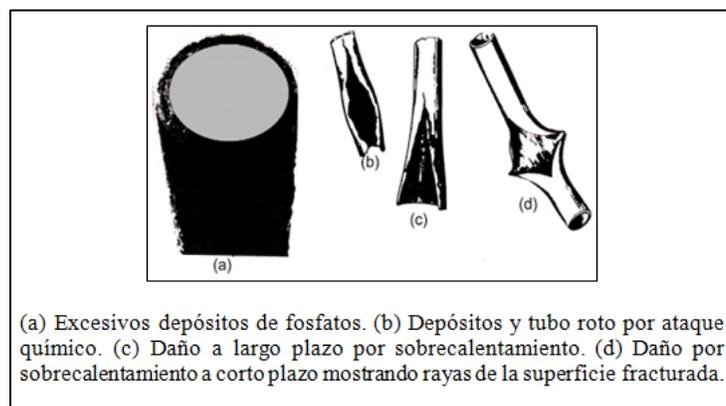
- ✓ **Carbonato cálcico:** Es una incrustación blanda, de tipo cenagoso, normalmente blanquecina de apariencia y se quita fácilmente por lavado con agua.
- ✓ **Carbonato de magnesio:** Forma una costra blanda de tipo similar a la del carbonato cálcico.
- ✓ **Sílice:** Comparte una estructura vítrea a los depósitos de sulfato cálcico, lo que produce una costra muy dura, frágil y prácticamente insoluble en los ácidos.
- ✓ **Silicato de calcio y magnesio:** Ambos tienden a originar costras de estructura densa y cristalina, muy adherente a las superficies de transferencia térmicas y con bajas características de transferencia de calor.
- ✓ **Hidróxido de calcio y magnesio:** Produce depósitos blandos que pueden adherirse o cementar con otras sustancias.
- ✓ **Carbonato de hierro:** Se encuentra con frecuencia en otras incrustaciones y es una sustancia indeseable porque añade una naturaleza corrosiva a la costra que aparece.
- ✓ **Fosfato de calcio y magnesio:** Son subproductos de los tratamientos de agua por fosfato y aparecen como un lodo blando que se elimina fácilmente por purga.
- ✓ **Sulfato de magnesio:** no es demasiado común en la incrustación, en combinación con el carbonato cálcico o el sulfato cálcico, puede resultar una incrustación vítrea muy dura.
- ✓ **Depósitos de aceite:** el aceite en las calderas constituye una situación peligrosa. El aceite es un excelente aislante de calor y su presencia sobre las superficies expuestas a altas temperaturas puede producir serios sobrecalentamientos y daños a la caldera.

1.4.2.2 Consecuencias de las Incrustaciones

Las incrustaciones puede implicar varios cambios químicos que pueden ocurrir en el agua de la caldera, por ejemplo una incrustación de decimas de milímetro de espesor es suficiente para que la temperatura del metal sobrepase los 600 °C, límite en el cual el acero pierde resistencia mecánica.

- La temperatura a la salida de los tubos de humo de la caldera, aumentan la pérdida del rendimiento calorífico; el consumo de combustible aumentando paralelamente el precio del vapor.
- El aumento en combustible y la disminución de la capacidad de la caldera debido al aislamiento y disminución de la sección libre de los fluxes; además puede ser causante de deformaciones y rupturas cuando por ser muy gruesa, origina un sobrecalentamiento de la pared metálica que llegue cerca de su punto de fusión.

Figura 07. INCRUSTACIONES Y ROTURAS DE TUBOS



Fuente: KOHAN, Lawrence Anthony. *Manual de Calderas.*, 3ra ed. México, McGraw – Hill Book Co. 2000. p. 542

- Debido a que la incrustación es un mal conductor de calor, las superficies de calefacción de caldera al estar aisladas por las costras, pueden alcanzar pronto

temperaturas peligrosamente altas. Provocando serios daños como: rotura de tubos e incluso de la virola de caldera.

La formación de incrustación aumenta con la tasa de evaporación. Así los depósitos de incrustación a menudo serán mayores donde la temperatura de los gases sea más elevada.

Tabla 03. INCRUSTACIONES EN CALDERAS DE VAPOR

ESPESOR DE INCRUSTACIONES	PÉRDIDA DE CALOR QUE SE PROCUCE	AUMENTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EQUIVALENTE
0,8 mm	8%	2,0 %
1,6 mm	12%	2,5 %
3,2 mm	20%	4,0 %

Fuente: BERTOMEU., RB., S.L.Dep Técnico., 1999

- Las pérdidas de calor causadas por incrustaciones dependen de varios factores tales como: el espesor, naturaleza y porosidad de la incrustación, diferencia de temperaturas entre las superficies externa e interna de la capa, etc.
- Cuando el agua entra en contacto con el hierro sobrecalentado, aumenta su concentración de sosa cáustica y provoca corrosiones, esto a consecuencia de la porosidad de las incrustaciones.
- Las incrustaciones bloquean la acción adecuada de los controles como el nivel de agua e incluso las válvulas de seguridad. Una causa principal del fallo de las válvulas de seguridad es la acumulación de depósitos alrededor del asiento, lo que lleva a la válvula a bloquearse en su posición cerrada.

A continuación se muestra las pérdidas de transferencia de calor por incrustaciones de acuerdo a la American Boiler Manufacturer's Association (AMBA):

Tabla 04. PÉRDIDAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR INCRUSTACIONES

GROSOR DE INCRUSTACIÓN		PERDIDA DE CALOR %
Pulgadas	mm.	
0.02	0.51	4
0.03	0.76	7
0.04	1.018	9
0.05	1.27	10
0.06	1.52	13
0.09	2.28	15
0.11	2.79	18

Fuente: American Boiler Manufacturer's Association (AMBA)

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

1.4.2.3 Remoción de Incrustaciones

Interrumpir la operación de una caldera inesperadamente, por inspección o para proceder a la desincrustación, genera pérdidas, y más aún cuando se cuenta con una sola unidad de generación de vapor.

Existen tres procedimientos para llevar a cabo este proceso:

- ✓ Desincrustación mecánica, este procedimiento provoca desgaste mecánico en la tubería y reduce sus propiedades de soportar altas temperaturas y presiones para las que fueron diseñados. Ya que se utilizan elementos afilado o discos para pulir y eliminar los depósitos incrustantes.
- ✓ Para desincrustar se utiliza ácidos fuertes, proceso que implica control y estructura estequiometria, requiere amortiguadores que limiten el ataque a las incrustaciones y proteja el metal. El desecho de las soluciones acidas, como los amortiguadores son tóxicos.
- ✓ La mejor forma de desincrustación, es de forma lenta, es decir, con la caldera en operación, no daña el metal, protege las áreas en donde se ha ido removiendo el sarro de nuevas incrustaciones y de ataques corrosivo. El régimen de purga es estricto para eliminar y evitar taponamientos en los conductos.

1.4.2.4 Prevención contra la Incrustación.

Los grandes depósitos de incrustación son generalmente un indicativo de negligencia, que puede ser evitada en la mayoría de los casos por un tratamiento adecuado del agua, ya sea este tratamiento externo o interno.

Las incrustaciones, deberían ser eliminadas y, una vez que se ha conseguido limpiar la caldera, deben tomarse las medidas adecuadas para evitar su recurrencia.

El equipo de tratamiento externo, tiene como limitante, la saturación de sus resinas, por el intercambio; cuando sucede, el calcio y magnesio, tienen vía libre hacia la caldera y ante la ausencia de un anti-incrustante, el riesgo de incrustación aumenta.

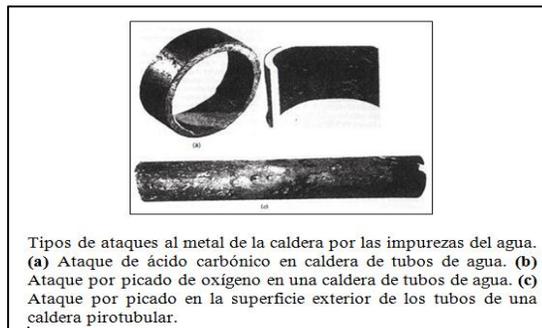
1.4.3 Corrosión

La corrosión es la segunda causa de problemas del agua de caldera después de la formación de incrustaciones.

La corrosión es el deterioro progresivo de las superficies metálicas en contacto con el agua, debido a la acción del oxígeno, anhídrido carbónico y algunas sales como el cloruro de sodio. También pueden ser causadas por compuestos químicos derivados de tratamientos de agua mal aplicados. (KOHAN, 2000)

El efecto corrosivo puede debilitar seriamente al metal, de modo que puede ocurrir un fallo inesperado de una parte del recipiente a presión de la caldera.

Figura 08. TIPOS DE ATAQUES DEL METAL EN UNA CALDERA



Fuente: KOHAN, Lawrence Anthony. Manual de Calderas., 3ra ed. México, McGraw – Hill Book Co. 2000. p. 554

1.4.3.1 Factores que provocan la Corrosión.

Entre los factores que provocan la corrosión tenemos:

- ✓ Inapropiada dosificación de productos químicos.

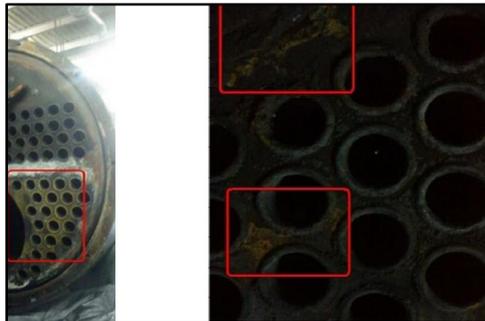
- ✓ Baja relación pH/alcalinidad.

- ✓ Presencia de oxígeno disuelto.
- ✓ Alto contenido de sólidos disueltos.
- ✓ Alto contenido de material suspendido
- ✓ Presencia de dióxido de carbono y otros gases disueltos.

La forma más común de corrosión es el ataque al acero por el oxígeno, acelerado por las altas temperaturas y pH bajo.

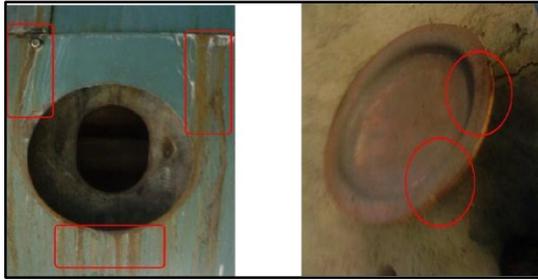
Un medio electrolítico (interacción de cargas eléctricas opuestas), causa corrosión, el total de sólidos disueltos conformado por impurezas con cargas eléctricas negativas, reaccionan con el hierro de la caldera que tiene carga positiva. Un adecuado régimen de purga, reduce el riesgo de corrosión por sólidos altos.

Figura 09. CORROSIÓN POR LOS GASES DE COMBUSTIÓN



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/28642480/Corrosion-Caldera>

Figura 10. CORROSIÓN PROVOCADA POR BAJO pH



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/28642480/Corrosion-Caldera>

1.4.4 Fragilidad Cáustica

En el año de 1866 Graham descubrió que el hidrógeno penetraba el hierro calentándolo al rojo y que una parte del hidrógeno lo retenía el metal después de haberse enfriado.

La fragilidad cáustica es la falla o agrietamiento que puede ocurrir en el acero de las calderas, debido a una gran variedad de causas:

Por lo general es el resultado de esfuerzos mecánicos o combinación de estos esfuerzos y corrosión, puede ser también debido a esfuerzos mecánicos en presencia de sosa cáustica en concentraciones altas.

Cuando el metal ya ha sido fragilizado, no hay forma de detenerlo, muchas veces es necesario cambiar tuberías y algunos accesorios, pero cuando ya avanzó demasiado la fragilización, es preferible cambiar toda la unidad, antes de tratar de componerlo, debido a que los costos son muy elevados.

1.4.5 Espumado y Arrastre

✓ **Espumado**

La causa de la elevada tensión superficial es normalmente por una elevada concentración de sólidos en el agua de caldera. La materia orgánica también puede originar este problema.

El espumado puede evitarse con una comprobación periódica de la concentración del agua de la caldera y el control de la purga para mantener la concentración dentro de los límites permisible.

✓ **Arrastre de vapor en calderas**

Ocurre cuando el vapor que sale de la caldera y lleva partículas de agua en suspensión. Los sólidos disueltos en esas partículas se depositan en los elementos y equipos donde circula y se utiliza el vapor, provocando problemas de funcionamiento de los sistemas de vapor y aumentando automáticamente los costos. Entre sus causas se tiene la presencia excesiva de sólidos totales disueltos, alta alcalinidad, materiales oleosos, sustancias orgánicas y detergentes.

La magnitud de las pérdidas ocasionada por los arrastres es generalmente indeterminada como el consumo de combustible, costos de mantenimiento de los equipos y la seguridad de la planta se ven afectados por esta circunstancia.

1.5 CALIDAD DEL AGUA PARA CALDERAS

El agua de alimentación de calderas y otros sistemas de generación y conducción de vapor constituye uno de los usos industriales más importantes en las fábricas, lavanderías, clubes, colegios, universidades, centros de recreación, hospitales y laboratorios.

La calidad de agua para calderas es fundamental para la operación y buen funcionamiento. Obligando a que se suministre a las calderas agua de muy alta pureza y calidad.

De acuerdo a la norma Española (USEPA, USAID) Manual Guidelines for Water Reuse, Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004), los criterios de calidad para el agua de alimentación para calderos son los siguientes:

Tabla 05. CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CALDERAS

PARÁMETRO	Presión baja < 150 psig <1 MPa	Presión intermedia 150-700 psig 1- 4,8 MPa	Presión alta > 700 psig > 4,8 MPa
Alcalinidad	350	100	40
Aluminio	5	0,1	0,01
Amoníaco	0,1	0,1	0,1
Bicarbonato	170	120	48
Calcio	-	0,4	0,01
Cobre	0,5	0,05	0,05
DQO	5	5	1
Dureza	350	1	0,07
Hierro	1	0,3	0,05
Magnesio	-	0,25	0,01
Manganeso	0,3	0,1	0,01
OD	2,5	0,007	0,007
pH	7-10	8,2- 10	8,2-9,0
SAAM	1	1	0,5
SDT	700(<3000*)	500	200
Sílice	30	10	0,7
SST	10	5	0,5

*UN, Water for industrial use

Fuente: ROMERO, Jairo A; “Calidad de agua”, Tercera Edición

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

De acuerdo a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) presentan los límites en función de las presiones:

Tabla 06. LÍMITES DE CONTENIDO DE ELEMENTOS EN AGUA DE ALIMENTACIÓN

Agua de Alimentación						
Presión en domo vapor (kg/cm ²)	Hierro (ppm Fe)	Cobre (ppm Cu)	Dureza Total (ppm CaCO ₃)	Sílice (ppm SiO ₃)	Alcalinidad total (ppm CaCO ₃)	Conductancia específica (umho/cm)
0-20	0.100	0.050	Max. 20	150	350	3500
21-30	0.050	0.025	0.300	90	300	3000
31-42	0.030	0.020	0.200	40	250	2500
43-52	0.025	0.020	0.200	30	200	2000
53-63	0.020	0.015	0.100	20	150	1500
64-70	0.020	0.015	0.050	8	100	1000
71-105	0.010	0.010	ND	2	NS	150
106-140	0.010	0.010	ND	1	NS	100

NS: No especificado

ND: No detectable

Fuente: ASME (American Society of Mechanical Engineering)

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Tabla 07. NORMA ESPAÑOLA (UNE EN-12953-10) PARA CALDERAS PIROTUBULARES

	Unidad	Agua en caldera vapor que utiliza agua de alimentación con conductividad:	
		>30 uS/cm	≤ 30 uS/cm
Presión de servicio	Bar	0,5 a 20	0,5 a 20
Coductividad a 25°C	uS/cm	<6000*	<1500
ph a 25°C		10,5 a 12	10 a 11

Fuente: Accesorios de las calderas - SPIRAX XARCO. www.fenercom.com/...Jornada%20calderas%20industriales/05-Accesorio.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

EL Valor de la conductividad (*) con recalentador será el 50% del indicado. La norma también hace referencia a otros parámetros (alcalinidad, sílice, fosfato, etc). En el agua de alimentación también es importante controlar el pH, Hierro, Oxígeno, Dureza.

Tabla08. REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA CALDERAS DE BAJA PRESIÓN

Contaminante	Valor aceptable Ppm	Valor Límite Ppm
Dureza total como CaCO ₃	0	20
Alcalinidad total como CaCO ₃	500	700
Sólidos totales disueltos	2000	3500
Sólidos en suspensión	300	600
Sílice como SiO ₂	100	133
Oxígeno disuelto como O	0	0,015
pH	9,5	9,5
Hidróxido como Na ₂ SO ₃	150	300
Aceite	0	1
Sulfito de sodio como Na ₂ SO ₃	30	60
Fosfato como PO ₄	30	50
Materia orgánica	50	75

Fuente: American Society of Mechanical Engineers. Boiler & Pressure Vessel Code: recommended guidelines for the care of power boilers. New York: ASME, 2007. (ASME 56-3934)

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

1.6 PARÁMETROS TRATAMIENTO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN

El mínimo de pruebas químicas y físicas que normalmente se prescriben para calderas son los siguientes, para posteriormente poder establecer un correcto tratamiento para el agua de alimentación de caldera.

1.6.1 Características físicas

1.6.1.1 pH

El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos, incrustaciones (alto pH). El pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pHchímetro).

La medición de este parámetro nos indicará si es necesario añadir una cierta cantidad de alcalinizante para llevar al pH requerido para una caldera.

Tabla 09. RANGO DE ACIDEZ O ALCALINIDAD

Valor	Característica
0 – 6.99	Rango ácido
7	Valor neutro
7.01 – 14	Rango alcalino
10.5 -12	Rango recomendado en calderas
13 – 14	Rango muy alcalino

Fuente: GONZALO., R., Operación de Calderas Industriales., 2000.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

1.6.1.2 Turbidez

La turbidez puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica, y microorganismos. Para determinar la turbidez es el método

nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTN).

1.6.1.3 Conductividad

La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua. Estos iones son especialmente Calcio, Magnesio, Sodio, Fósforo, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico, expresándose el resultado en $\mu\text{Siemens/cm}$. La conductividad es una medida indirecta de los sólidos disueltos. Las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

1.6.2 Características Químicas

1.6.2.1 Alcalinidad

Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.

Este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor. La alcalinidad del agua se expresa como mg/l de carbonato de calcio.

1.6.2.2 Dureza

La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, siendo estos iones los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.

Se expresa en partes por millón (ppm) de carbonata de calcio que equivale a miligramos por litro, compuesto por calcio, magnesio, bario, estroncio y hierro (+1, +2).

Tabla 10. CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA POR LA ASTM

Valor	Indicador	Característica
1 – 60	Ppm	Agua suave
61 – 120	Ppm	Moderadamente dura
121 – 180	Ppm	Dura
180	Ppm	Agua muy dura

Fuente: GONZALO., R., Operación de Calderas Industriales., 2000.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Los bicarbonatos de calcio y magnesio se clasifican como dureza carbonatada, y los sulfatos de calcio y de magnesio (o los cloruros y nitratos) representan la dureza no carbonatada.

La llamada dureza temporal es la que puede eliminarse por ebullición.

1.6.2.3 Calcio

Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Los iones calcio disueltos en el agua forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado calcio.

Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta misma razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenido mayores a las superficiales correspondientes. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

1.6.2.4 Cloruros

Suelen encontrarse en agua naturales entre 10 y 200 ppm, en el mar existen hasta 20000 ppm. Un contenido mayor a 300 ppm crea condiciones corrosivas por acidez, adquiriendo un sabor salado, el régimen de purga mantiene la concentración permisible.

1.6.2.5 Sulfatos

El ion sulfato, uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/l.

Los sulfatos pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua. En función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente.

El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

1.6.2.6 Hierro y cobre

El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.

Hierro: Esta prueba se utiliza para determinar si el retorno del condensado tiene exceso de óxido de hierro o herrumbre proveniente de las tuberías anexas y maquinaria de utilización del vapor.

Cobre: Similar al efecto del hierro pero en sectores de los intercambiadores de calor o equipos de bombeo con piezas de cobre. Las reparaciones que sustituyen el cobre pueden reducir la fuente de este contaminante.

1.6.2.7 Oxígeno

El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.

Los secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos como: sulfitos, hidracina, hidroquinona, utilizados para remover el oxígeno residual del agua.

1.6.2.8 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorece la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras. El CO₂ se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico.

La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal

1.6.2.9 Fosfato

La concentración de fosfatos se controla para producir incrustaciones solubles que puedan purgarse fuera de la caldera.

La concentración de fosfato se mantiene también de modo que exista una relación entre fosfato y pH o alcalinidad en el agua de la caldera, de forma que no haya hidróxido libre presente y así evitar la fragilidad.

1.6.2.10 Sólidos disueltos totales

Es la cantidad de impurezas disueltas en el agua como carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos. Es el parámetro que gobierna la variación de la purga, con un máximo permisible de 3500 ppm en función de la presión de trabajo. A mayor cantidad de sólidos disueltos, se incrementará el purgado.

1.6.2.11 Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión, es decir no disueltas en el agua.

1.6.2.12 Sílice

La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).

Su control no se limita únicamente a calderas de alta presión, en la práctica se ha encontrado incrustaciones de sílice en calderas de baja presión. El valor máximo aceptado es 120 ppm.

1.6.2.13 Índice de Estabilidad

Conociendo la dureza, la temperatura, el pH y la alcalinidad del agua, se puede cuantificar la tendencia del agua a ser incrustante o corrosiva.

El índice de Langelier se fundamenta en el grado de saturación del carbonato de calcio que posee el agua.

Sí en el agua el carbonato cálcico se encuentra saturado, ella no posee la tendencia ni corrosiva ni incrustante y su valor de pH en dicho estado corresponde al pH de saturación (pH_s). Si el $pH > pH_s$, el agua es incrustante; si el $pH < pH_s$, el agua es corrosiva.

1.7 TRATAMIENTOS PARA PURIFICAR EL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LAS CALDERAS

Los sistemas de alimentación del agua para calderas pueden estar constituidos por varios elementos, con el objeto de prevenir los problemas causados por las impurezas, minimizando así las características indeseables del agua, evitando problemas de corrosión e incrustaciones en el caldero y las tuberías de vapor.

Existen varios tratamientos que realizan el mismo trabajo en el agua y dependiendo el tipo de agua que utilice la empresa será necesario uno o varios tratamientos que se describen a continuación:

- ✓ Físicos

- ✓ Químicos

- ✓ Térmicos

- ✓ Mixtos

1.7.1 TRATAMIENTOS FÍSICOS:

1.7.1.1 Filtración

Su objetivo es extraer partículas grandes en suspensión. Se realiza antes que el agua llegue al caldero, es un tratamiento externo en el que hace pasar el agua a través de un medio filtrante en donde quedaran retenidas las partículas sólidas.

Existen varios medios filtrantes como membranas, mallas (pequeñas instalaciones) o de grava y arena.

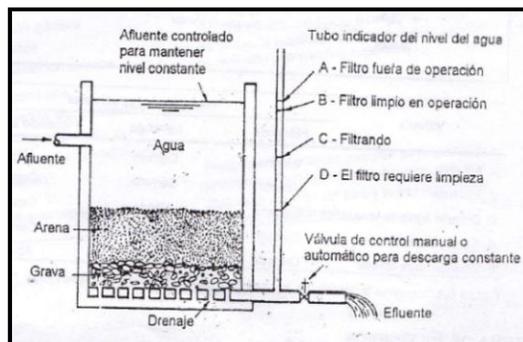
El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte, el paso del agua por el lecho de arena permite retener los sólidos de tamaño superior a los intersticios entre los granos de arena. Además, se producen efectos superficiales que permiten retener partículas más pequeñas.

La selección del filtro más adecuado dependerá de la cantidad, temperatura y velocidad del agua, clase y concentración de las impurezas que van a separarse.

En función de la velocidad de filtración se tiene:

- ✓ **Filtros lentos:** Se utilizan para aguas poco turbias, siempre sin acondicionamiento químico previo. Son generalmente filtros de gravedad que requieren mucha superficie de filtración.

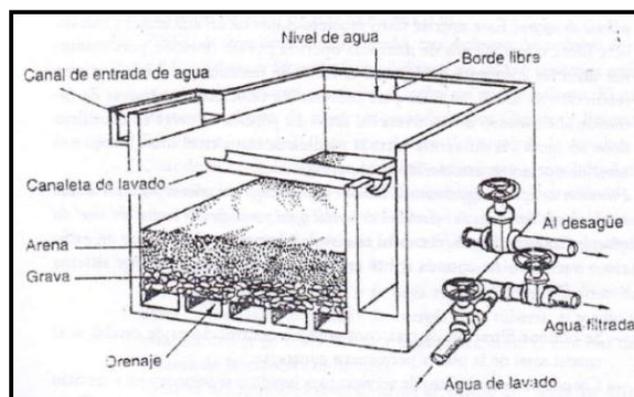
Figura 11. DIAGRAMA FILTRO LENTO DE ARENA



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

- ✓ **Filtros rápidos:** Son los filtros usados normalmente en aguas potables, con o sin acondicionamiento químico previo. Generalmente son filtros de presión y suelen ser más pequeños, que no requieren altas superficies de filtración.

Figura 12. DIAGRAMA FILTRO RÁPIDO DE ARENA



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

Medios Filtrantes

La selección de un medio filtrante se determina por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

- ✓ **Arena:** Es el medio filtrante más usado, por ser el más económico.
- ✓ **Antracita:** En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio granular filtrante. La antracita para filtros debe ser limpia, dura, con dureza mayor de 2,7.
- ✓ **Grava:** La grava debe ser dura, redondeada, con una densidad relativa promedio no menor de 2,5.

Se debe tener en cuenta el lavado que se debe realizar a los filtros para reacondicionarlos nuevamente, haciendo circular agua en el sentido contrario a la operación de filtración.

1.7.1.2 Desgasificación

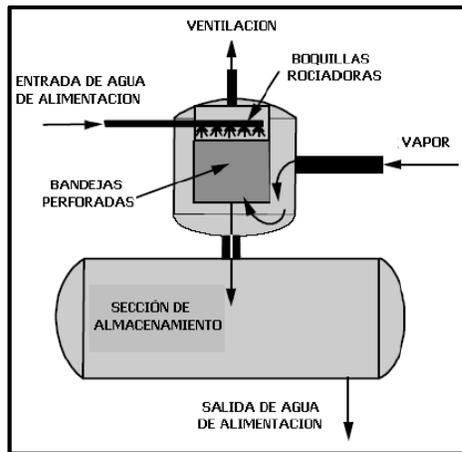
Consiste en extraer los gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico). Se consigue calentando el agua de alimentación, proporcionando una gran área de contacto agua-aire (ducha o agitación).

Los desgasificadores o desaireadores son utilizados en calderos que operen a 110 psi o más, donde la producción depende del funcionamiento continuo del caldero y cuando el caldero opera con una composición de agua fría del 25% o más.

El desaireador a demas es el encargado de calentar el agua de alimentación, reduciendo el choque térmico del agua y manteniendo en buenas condiciones al caldero.

El desaireador consiste en una cámara que está montada sobre el tanque de alimentación de agua, contiene una serie de bandejas perforadas por las cuales circula el agua de alimentación, desde la parte superior, una lluvia en finas gotas mezclada con vapor que viene del retorno del condensado o del caldero directamente es introducido en la cámara desde la parte inferior haciendo que el agua de alimentación se caliente y expulse el aire disuelto en el agua.

Figura 13. TANQUE DESAIREADOR



Fuente: Deaerator, 02/09/2014, www.CIBO.com/CIB_SteamHandbook.htm

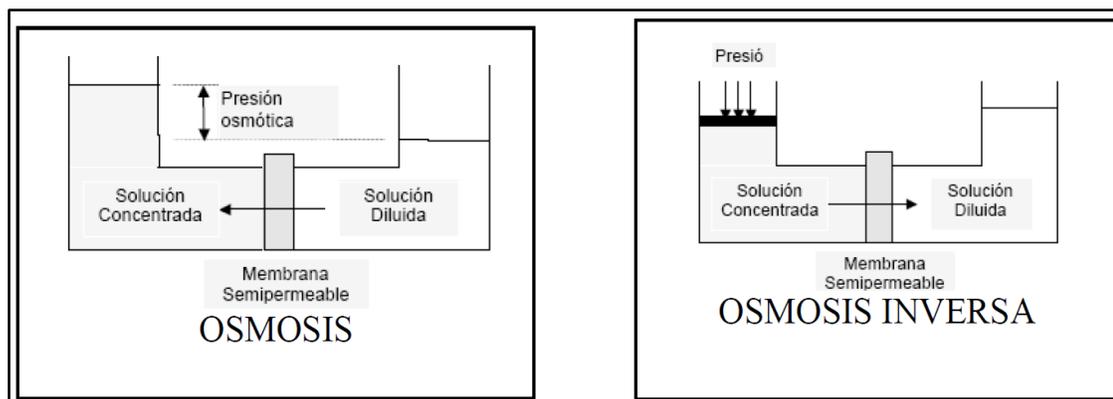
1.7.1.3 Ósmosis Inversa

El equipo para realizar osmosis inversa se utiliza para separar o quitar los sólidos disueltos, sub microorganismos, pirogénicos, materia orgánica, del agua a muy alta presión.

Debido a que requiere de una presión para pasar el agua de un estado de baja concentración a uno de alta y luego viceversa, se lo conoce como osmosis inversa, en donde las dos cámaras por las cuales pasa el agua están separadas por una membrana semipermeable que solo dejará pasar las moléculas de agua, atrapando en ella todas las impurezas e incluso las sales disueltas.

Durante el proceso de osmosis, el agua misma es la encargada de lavar la membrana, lo que disminuye los gastos de operación. Con el proceso de osmosis se puede quitar entre un 95% a un 99% de los sólidos disueltos totales.

Figura 14. ÓSMOSIS INVERSA



Fuente: MAVAISAN instalaciones de tratamientos de agua de alimentación de caldera.

Este proceso necesita mucha energía eléctrica debido a las altas presiones que se manejan por parte de la bomba de presurización. Este equipo por lo general se utiliza cuando se tiene un agua con muchos sólidos disueltos, alcalinidad y sílice.

1.7.1.4 Extracciones o Purgas

Las purgas consisten en evacuar cierta cantidad de agua desde el fondo de la caldera o del domo, con objeto de disminuir o mantener la cantidad total de sólidos disueltos y extraer lodos (en el caso de purga de fondo).

La extracción puede ser continua o intermitente. La magnitud de la extracción depende de la concentración de sólidos disueltos a mantener en la caldera y la del agua de alimentación.

El régimen de purgado se maximiza con una secuencia: de arriba hacia abajo, purgando primero la superficie (el nivel de agua, nivel de agua auxiliar, columna de nivel de vidrio) eso evita que las impurezas que se encuentran entre la cámara de vapor y el agua sean evacuadas antes de precipitar, luego se purga las válvulas de fondo.

Se debe abrir las llaves lentamente para evitar el golpe de ariete y la rotura de tubería, cerrarlas de igual manera para no generar turbulencia en el fondo de la caldera y depositar los lodos en las partes superiores de la unidad. La lectura en los controles de la caldera es fundamental para su operación.

1.7.2 TRATAMIENTOS QUÍMICOS:

Consiste en suministrar internamente sustancias químicas que reaccionan con las impurezas del agua, precipitando sólidos insolubles o en suspensión, eliminables mediante purgas. Según el objetivo que persiguen, las sustancias se clasifican en:

1.7.2.1 REDUCTORAS DE DUREZA O ABLANDADORAS:

El ablandamiento, es la operación de eliminar la dureza exclusivamente. Cuando decimos desmineralización, nos estamos refiriendo a la operación de eliminar todos los iones que se encuentren disueltos en el agua.

Por lo tanto la desmineralización es un tratamiento más integral y completo que se puede realizar al agua dependiendo las características y los requerimientos para su uso.

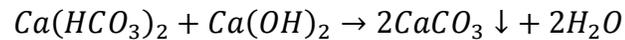
1.7.2.1.1 Ablandamiento con Cal

El método consiste en la precipitación del calcio como carbonato de calcio (CaCO_3), y el magnesio como hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), al añadir cal (hidróxido de calcio) al agua, la misma que elevará el pH transformando dichos compuestos en insolubles. (VERREY, 1968)

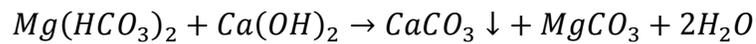
La cal remueve la dureza cálcica y la dureza magnésica. Adicionalmente, reacciona con el CO₂ presente en el agua, aumentando la dosis requerida. Para elevar de modo suficiente el pH se hace necesario un exceso de cal.

Las reacciones básicas del proceso son:

Dureza Cálcica:

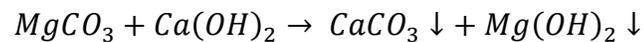


Rx.1

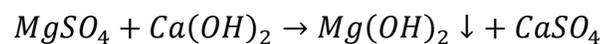


Rx.1

Dureza por Magnesio:



Rx.2



Rx.3

1.7.2.1.2 Ablandamiento con cal y sosa calcinada

Este proceso consiste en aplicar sustancias al agua cruda, en plantas de tratamiento semejantes a las que usan filtros rápidos de arena.

La cal reacciona con los bicarbonatos solubles de calcio y magnesio, que son los causantes de la “dureza de carbonatos”, formando carbonato de calcio e hidróxido de magnesio que son insolubles.

La sosa calcinada reacciona con los compuestos solubles no carbonatados de calcio y de magnesio, que causan la “dureza permanente o de no carbonatos”, precipitando compuestos insolubles de calcio y de magnesio, pero dejando en solución a los compuestos de sodio.

El equipo que se emplea son: aparatos para mezclar los productos químicos de ablandamiento con el agua, tanques de sedimentación en las que se realizan las reacciones de ablandamiento y el asentamiento de los precipitados; filtros rápidos de arena para la clarificación final del agua, en algunos casos se utiliza un equipo generador de dióxido de carbono para la recarbonatación del agua ablandada con el fin de evitar la incrustación excesiva.

Una de las desventajas de este tratamiento es que se forman grandes cantidades de sedimentos los mismos que pueden ocasionar un gran problema al momento de desecharlas, si no se tiene una suficiente corriente de agua.

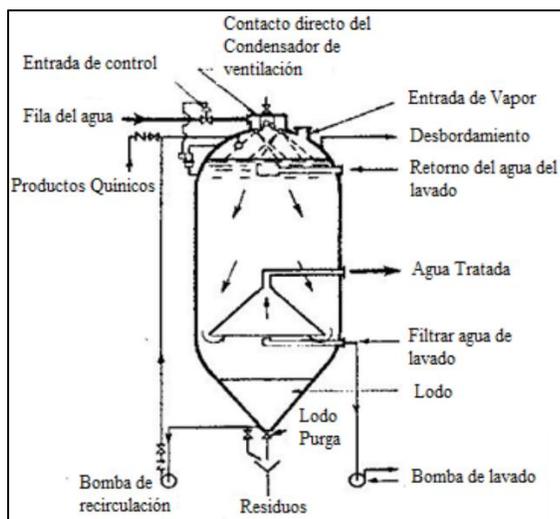
La reducción de la dureza obtenida mediante este tratamiento no siempre es satisfactoria, la razón principal de esta dificultad era la formación de carbonatos básicos complejos solubles de magnesio que crean una alta alcalinidad en el agua ablandada.

Se adoptaron ciertas modificaciones en este tratamiento como por ejemplo: el tratamiento con exceso de cal, tratamiento dividido, exceso de cal seguido de recarbonatación, adición de coagulantes, empleo de polifosfatos para estabilizar el agua ablandada con cal y prevenir la incrustación.

Las operaciones de ablandamiento químico se realizan en frío o en caliente, siendo el último método el más efectivo, pero a la vez el más complicado.

La operación en frío se puede realizar en tanques o en reservorios de sedimentación abiertos, así como también en equipos similares a los clarificadores de flujo vertical. La operación en caliente se realiza en equipos cerrados y presurizados, como el que se observa.

Figura 15. EQUIPO DE ABLANDAMIENTO QUÍMICO



Fuente: <http://hdl.handle.net/123456789/2031>

1.7.3 INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido (Nevárez 2009; Pérez *et al*, 2006).

En el proceso de intercambio iónico ocurre una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados por iones de igual carga de un fluido.

Intercambio de cationes: Se denomina intercambio catiónico, o intercambio básico, el desplazamiento de un ion positivo, o catión, por otro ion positivo. En aguas naturales, dichos cationes son por lo regular calcio, magnesio, sodio, hierro y manganeso.

Intercambio de aniones: Se denomina intercambio aniónico, o intercambio ácido, el desplazamiento de un ion negativo, o anión, por otro ion negativo. En aguas naturales, dichos aniones son comúnmente cloruro, sulfato, nitrato, carbonato, hidróxido y fluoruro.

Ciertos productos como las resinas, como por ejemplo resinas sintéticas tienen grupos activos en su estructura química, capaces de intercambiar los iones del agua por iones

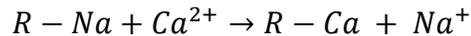
sodio, hidrógeno u oxidrilos, con lo cual se logra eliminar dureza o las sales totales del agua.

La estructura básica de la resina sintética la representaremos por R, presentamos a continuación las reacciones que ocurre:

Ciclo de Sodio

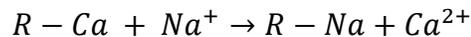
El ciclo de sodio es utilizado para ablandar el agua, pues reemplaza los iones calcio y magnesio del agua por los iones sodio. La regeneración del intercambiador iónico se lo realiza con salmuera. La resina en este caso es del tipo catiónico.

Ablandamiento



Rx.5

Regeneración



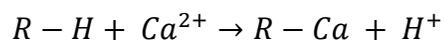
Rx.6

Ciclo Ácido y Ciclo Básico

Los ciclos ácido y básico, los cuales se realizan con un intercambiador catiónico para el primer paso y aniónico para el segundo, se los utiliza en combinación para desmineralizar el agua, pues, cambian todo tipo de cationes y aniones por iones hidrógeno y oxidrilo (agua). La regeneración en estos casos se realiza en soluciones de ácido sulfúrico (resina catiónica) y sosa caústica (resina aniónica).

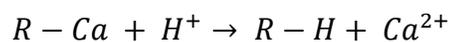
✓ **Ciclo ácido**

Ablandamiento



Rx.7

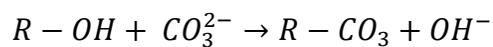
Regeneración



Rx.8

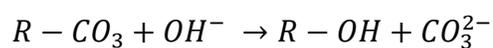
✓ **Ciclo básico**

Intercambio



Rx.9

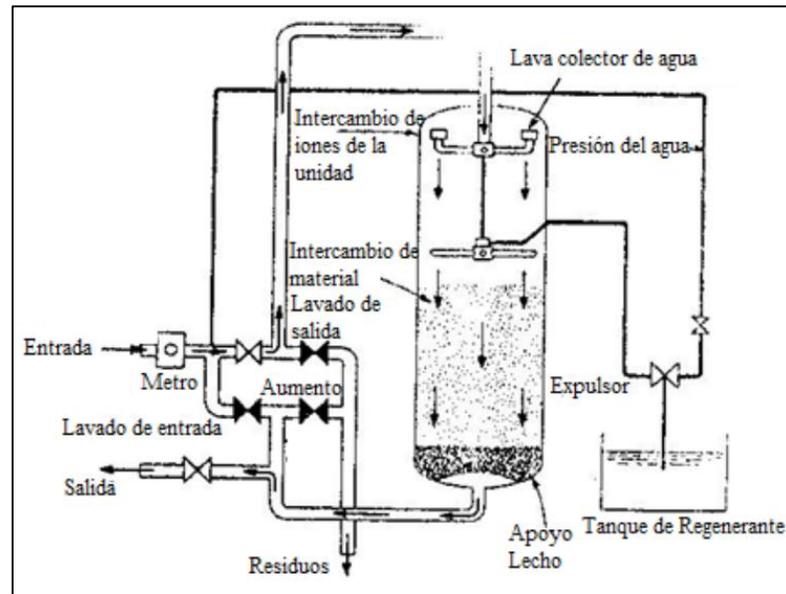
Regeneración



Rx.10

La operación de intercambio iónico se realiza en unidades como indica :

Figura 16. ESQUEMA DE UN EQUIPO DE ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IÓNICO.



Fuente: *Sistemas de Ablandamientos de Agua*. <http://hdl.handle.net/123456789/2031>

La eficiencia de este proceso depende de factores como: la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH del fluido, la concentración de iones, la temperatura y la difusión; éste último factor está en función de la dimensión del ion, carga electrostática, temperatura, estructura y tamaño del poro de la resina (Grágeda, 2006).

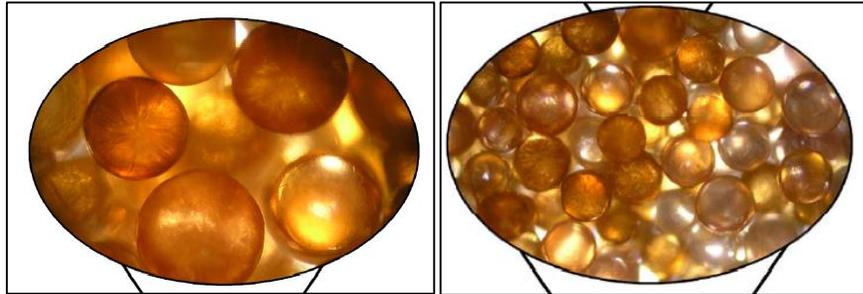
Los primeros productos empleados en la industria como intercambiadores iónicos fueron las zeolitas inorgánicas de origen natural, los silicatos de aluminio; después se introdujeron los intercambiadores iónicos orgánicos, hechos a partir de productos naturales sulfonados como el carbón, lignito y la turba.

En la actualidad se utilizan resinas sintéticas en su mayoría de poliestireno-divinilbenceno conocidas como resinas de intercambio iónico (Pérez et al, 2006).

1.7.3.1 RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

Las resinas de intercambio iónico son pequeñas sustancias granuladas o esféricas insolubles en agua, compuestas por una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz polimérica reticulada por la acción de un agente entrecruzante, que confiere a la resina estabilidad y resistencia mecánica, así como insolubilidad (Grágeda. 2006).

Figura 17. RESINA OBSERVADA EN ELMICROSCOPIO.



Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22193/Capitulo3.pdf>

El grado de entrecruzamiento es un factor importante de controlar ya que no sólo determina las propiedades mecánicas de la resina sino también su capacidad de hincharse (swelling) y de absorber agua.

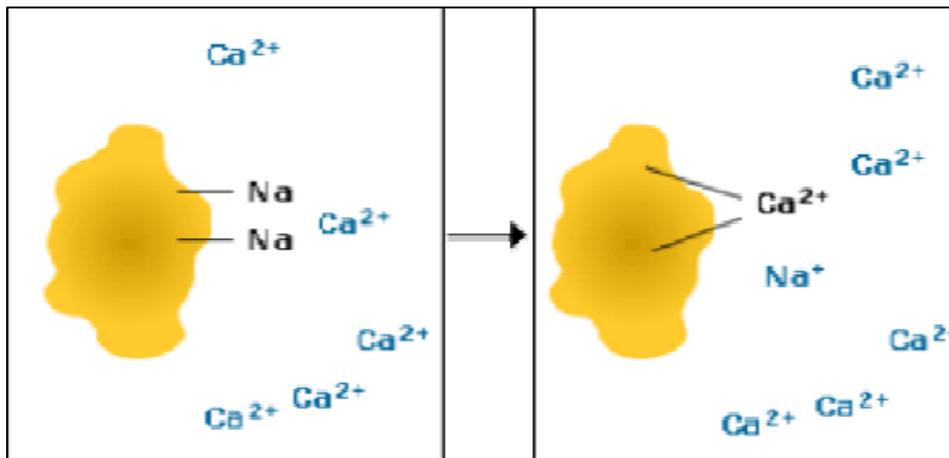
El hinchado del polímero se produce cuando el disolvente penetra en los poros de la estructura polimérica, ensanchándolos y abriendo la estructura. El proceso de hinchamiento favorece la permeabilidad de iones en la matriz de la resina y mejora la accesibilidad a los grupos funcionales (Grágeda. 2006).

A la ventaja que tienen las resinas de intercambio iónico se conoce como regeneración y es la habilidad para recuperar la capacidad original mediante el tratamiento con una solución

que puede ser ácido, base o sal dependiendo del tipo y el uso al que esté destinada, esta solución desplaza los iones retenidos por la resina y los reemplaza por iones deseados.

Este procedimiento se realiza cuando la resina agota su capacidad, permitiendo de esta manera utilizar la resina una y otra vez.

Figura 18. AGOTAMIENTO Y REGENERACIÓN DE LA RESINA



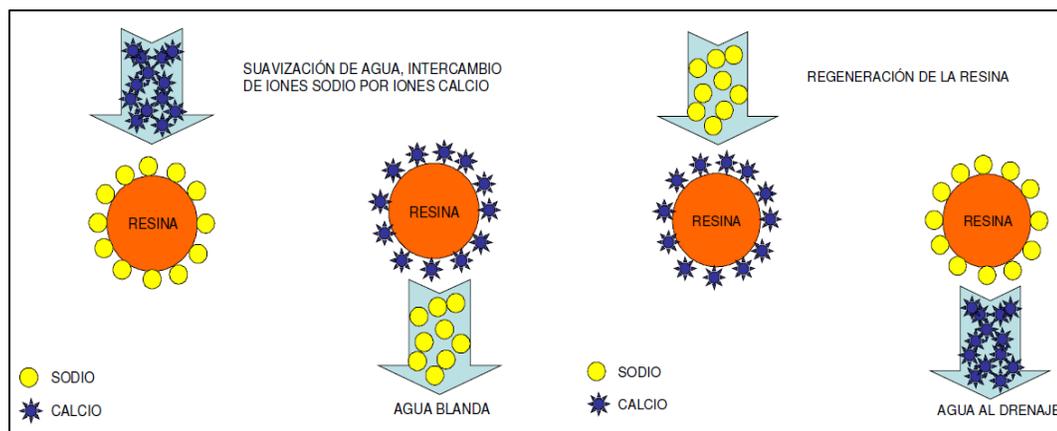
Fuente: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6484/33287132.pdf?sequence=1>

Por lo tanto la operación de intercambio iónico comprende el intercambio entre los iones presentes en una disolución (contaminantes) y los iones de un sólido (resina).

Estas operaciones son básicamente reacciones químicas de sustitución entre un electrolito insoluble con el cual se pone en contacto la solución, los mecanismos de estas reacciones son tan parecidos a las operaciones de adsorción, que se las considera como un tipo especial de este mecanismo.

Una reacción de intercambio en una resina puede ser representada de la siguiente manera:

Figura 19. REACCIÓN DE INTERCAMBIO IÓNICO



Fuente: Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas.

En donde R es la fase estacionaria o soporte (el copolímero de divinilbenceno) y Na^+ y Ca^{+2} son las especies que reaccionan.

En esta reacción química, el calcio Ca^{+2} se intercambia por su equivalente que son dos iones sodio Na^+ . Químicamente esta reacción es de intercambio o desplazamiento y el grado o extensión en que se lleva a efecto tal reacción depende de factores tales como: temperatura, pH, concentración de la especie en solución y naturaleza del ión.

Es conviene tener presente que el empleo de intercambiadores de iones está sujeto a cierto número de condiciones que se desconocen con mucha frecuencia:

- ✓ Sólo trabajar en presencia de una fase líquida en concentración limitada.
- ✓ Están destinadas a fijar iones y no a filtrar materias en suspensión, coloides o emulsiones grasas. La presencia de estas sustancias acorta la duración de estos productos.
- ✓ La presencia en el agua de gases disueltos en gran cantidad pueden dar lugar a fuertes perturbaciones en la actividad de los cambiadores.
- ✓ Los oxidantes energéticos (Cl_2 y O_3) afectan ciertas resinas.

- ✓ La aplicación a escala industrial exige mucha prudencia porque de esto dependerá el éxito o fracaso de la aplicación de las resinas basándose en la información facilitada por los fabricantes de los intercambiadores iónicos.

En la actualidad se realizan investigaciones para el desarrollo de nuevas resinas poliméricas de intercambio iónico ya que en el futuro éstas serán de gran utilidad e importancia en el tratamiento de agua para consumo humano, en aplicaciones industriales y medio ambiente (Pérez *et al*, 2006).

1.7.3.1.1 Tipos de Resinas

Las resinas se pueden clasificar en base a dos criterios:

- Estructura de la red.
- Según el grupo funcional.

Según su Estructura de Red

Con respecto a la estructura de la red de la resina sintética existen diferentes tipos que se distinguen:

- ✓ *Microporosas o Tipo Gel*

Son resinas convencionales originadas a partir de la polimerización del divinilbenceno y el estireno.

- ✓ *Macroporosas o Macroreticulares*

Son resinas formadas por el polímero de poliestireno y divinilbenceno, se diferencia de las resinas tipo gel, ya que durante la síntesis de esta resina se utiliza un co-solvente que actúa interponiéndose entre las cadenas poliméricas creando grandes superficies internas.

Este disolvente se elimina una vez formada la estructura rígida del polímero. Las perlas tienen una relación área/volumen mayor que las de tipo gel siendo mayor la capacidad de intercambio, favoreciendo la difusión de los iones y mejorando por lo tanto la cinética de intercambio.

✓ *Isoporosas*

Se caracterizan por tener un tamaño de poro uniforme con lo que aumenta la permeabilidad de los iones en el interior de la red.

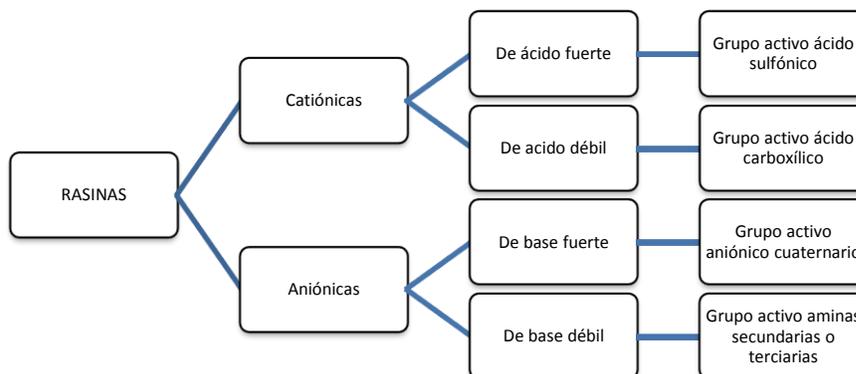
Son resinas de alta capacidad, regeneración eficiente y un costo más bajo que las resinas macroporosas.

Según su Grupo Funcional

Las propiedades de la resina de intercambio iónico vienen determinadas por el grupo funcional que está incorporado en la matriz polimérica.

Dependiendo de la acidez o alcalinidad del grupo funcional se pueden distinguir entre:

Figura 20. CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS POR SU GRUPO FUNCIONAL



Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22193/Capitulo3.pdf>

Elaborado: PÉREZ, Jessica C.

✓ *Resinas Catiónicas de Ácido Fuerte*

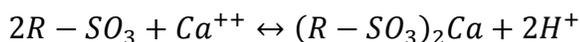
Este tipo de resina es una de las más importantes desde que fueron utilizadas industrialmente para la descalcificación del agua.

Se producen por sulfonación del polímero con ácido sulfúrico, el grupo funcional es el ácido sulfónico (-SO₃H) que es altamente ionizable, intercambian iones positivos (cationes).

Estas resinas operan a cualquier pH, el grupo funcional se activa con una disolución de hidróxido de sodio en donde los intercambiadores se transforman en la forma sódica (Na⁺), quedando lista para su utilización. Requiere de excesivas cantidades de regenerante y es una de la resina más utilizada.

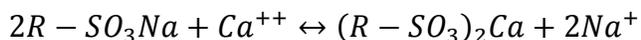
Los regenerantes apropiados para la resina catiónica de ácido fuerte son:

a) Forma de hidrógeno: se regeneran con HCl o H₂SO₄



Rx.11

b) Forma de sodio: se regeneran con NaCl



Rx.12

✓ *Resinas Catiónicas de Ácido Débil*

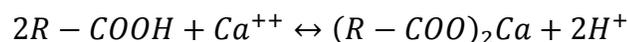
El grupo funcional es un ácido carboxílico (COOH) presente en uno de los componentes del copolímero principalmente el ácido acrílico o meta-acrílico.

Son resinas que tienen menor capacidad de intercambio, no son funcionales a pH bajo, elevado hinchamiento y contracción, lo que hace aumentar las pérdidas de carga o provocar roturas en la columna cuando no cuenta con suficiente espacio en su interior.

Se consideran resinas muy eficientes ya que requiere menos ácido para su regeneración, aunque trabajan a flujos menores que las de ácido fuerte. Las resinas catiónicas débiles están sujetas a una menor capacidad por un aumento en la velocidad de flujo.

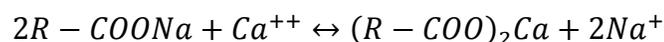
Los regenerantes apropiados para la resina catiónica de ácido débil son:

a) Forma de hidrógeno: se regeneran con HCl o H₂SO₄



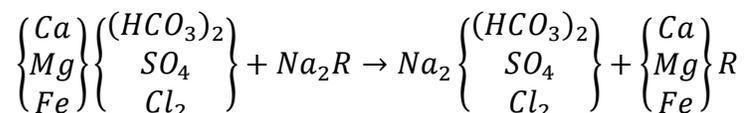
Rx.13

b) Forma de sodio: se regeneran con NaOH



Rx.14

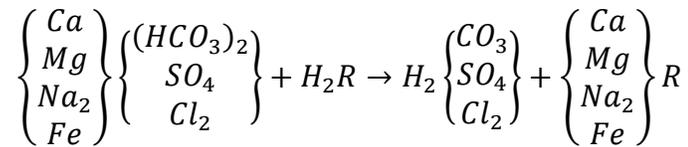
Para resinas catiónicas que intercambian sodio, la reacción que se genera es:



Rx.15

Agua dura + resina catiónica → agua blanda + resina agotada

Para resinas catiónicas que intercambian hidrógeno, la reacción que se genera es:



Rx.16

Agua cruda + resina catiónica → agua blanda (tratada) + resina agotada

✓ *Resinas Aniónicas de Base Fuerte*

Se obtienen a partir de la reacción de productos clorometilados de copolímeros de estireno-divinilbenceno con aminas terciarias. Son extremadamente estables y con una alta capacidad de intercambio.

El grupo funcional es una sal de amonio cuaternario, (R₄N⁺). Intercambian iones negativos y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente sosa.

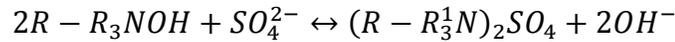
Los dos grupos principales de resinas aniónicas de base fuerte son las de Tipo 1 y Tipo 2, dependiendo de tipo de amina que se utiliza durante el proceso de activación química.

Las resinas de Tipo 1 son adecuadas para la eliminación total de aniones en todas las aguas, deben ser usadas en aguas de alta alcalinidad y alto contenido de silicio.

Las resinas de Tipo 2 también presentan la eliminación de todos los aniones, pero pueden ser menos efectivas para eliminar el silicio y dióxido de carbono de las aguas donde estos ácidos débiles constituyen más del 30% del total de aniones.

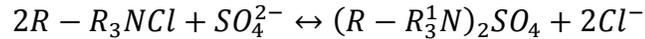
Los regenerantes apropiados para la resina aniónica de base fuerte son:

a) Forma de hidróxido: se regeneran con NaOH



Rx.17

b) Forma de cloruro: se regeneran con NaCl o HCl



Rx.18

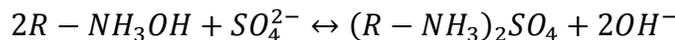
✓ *Resina Aniónica de Base Débil*

Son resinas que presentan grupos funcionales de amina primaria (-NH₂), secundaria (-NHR) y terciaria (-NR₂). Suelen aplicarse a la adsorción de ácidos fuertes con buena capacidad pero su cinética es lenta.

Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos sosa para su regeneración, no se puede utilizar a pH altos, pueden sufrir problemas de oxidación o ensuciamiento, deben ser usadas en aguas con niveles elevados de sulfatos o cloruros, o donde no se requiera la eliminación de la alcalinidad y del silicio, fijan los aniones de los ácidos fuertes como sulfatos, cloruros y nitratos, pero no los aniones débiles del ácido carbónico (H₂CO₃), ni del ácido silícico (H₂SiO₃).

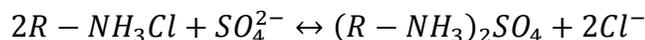
Los regenerantes apropiados para la resina aniónica de base débil son:

a) Forma de hidróxido o de base libre: se regeneran con NaOH, NH₄OH, Na₂CO₃



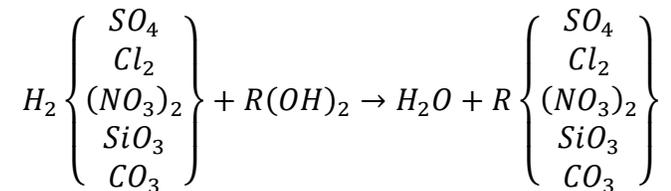
Rx.19

b) Forma de cloruro: se regeneran con HCl



Rx.20

Las resinas aniónicas que se regeneran mediante hidróxido de sodio, permiten obtener agua desmineralizada de calidad similar a la del agua destilada. La reacción que se genera es:



Rx.21

Agua intercambiador catiónico + resina aniónica → agua tratada + resina agotada

✓ *Resinas Quelatantes*

El grupo funcional de estas resinas forman quelatos selectivamente con algunos iones metálicos. Los átomos más frecuentes son azufre, nitrógeno, oxígeno y fósforo que forman enlaces de coordinación con los metales.

Son poco utilizadas en la industria por ser más caras que las anteriores y por tener una cinética de absorción más lenta.

1.7.3.2 PROPIEDADES

✓ *Tamaño de partícula*

El tamaño estándar varía entre partículas con un diámetro entre 0,3 y 1,2 mm, pero se pueden conseguir tamaños menores o mayores según la necesidad del uso. La velocidad de intercambio es mayor con partículas pequeñas, y la tasa de flujo requiere partículas grandes para tener menores pérdidas de presión.

✓ *Solubilidad*

El intercambio iónico de sustancias puede ser soluble bajo operación normal. Todas las resinas intercambiadoras usadas actualmente son poliácidas o poli bases de alto peso molecular que son virtualmente insolubles pero después de ciertas temperaturas se solubilizan.

✓ *Forma*

La forma de las resinas son gránulos esféricos que deben tener máxima homogeneidad y dimensión uniformes, tal que el fluido en la filtración permanezca aceptable.

✓ *Densidad*

Esta es una propiedad muy importante en las resinas. Existen varios tipos de densidad, la más representativa es la densidad húmeda y varía de 1.02 a 1.38 según el tipo de resina.

✓ *Caída de Presión*

La caída de presión es muy importante en el diseño de equipos. Esta relaciona el tamaño, forma, uniformidad y compresibilidad de las partículas, la viscosidad de la solución, temperatura y tasa de flujo utilizada.

✓ *Resistencia a la Fractura*

La expansión y contracción de la resina durante el agotamiento y la regeneración no sería causa para que se revienten los gránulos.

El diseño de aparatos de intercambio iónico debe también estar dirigido a la expansión, a evitar excesiva tensión o abrasión mecánica de la resina.

El agua a ser ionizada por resinas de intercambio iónico debe estar libre de material suspendido y coloidal ya que pueden obstruir la resina, disminuir el flujo e intercambio, así como también el tiempo de vida.

✓ *Estabilidad*

Al deteriorarse una resina se va perdiendo la estabilidad. El deterioro se manifiesta en diferentes formas cada una de ellas es independiente o relacionada con otros factores; bajo condiciones normales.

El deterioro puede ser de naturaleza química y se manifiesta en una pérdida gradual de su capacidad de intercambio. Aquí se muestran algunas formas de deterioro:

- Ruptura de las partículas de la resina.
- Despolimerización de la resina y consecuentemente hinchamiento.
- Disminución de la capacidad total.
- Daño de los grupos funcionales.
- Ensuciamiento por precipitación de elementos extraños sobre la partícula del intercambiador.

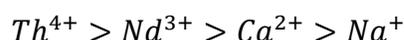
✓ *Selectividad*

Para que el equilibrio sea favorable para un sistema iónico determinado depende mayormente de la selectividad de la resina.

La selectividad depende de la carga y el tamaño de los iones. La influencia más importante es la magnitud de la carga del ion ya que una resina prefiere contra-iones de elevada valencia. Así, para una serie de aniones típicos encontrados en los tratamientos de agua podrían esperarse el orden de preferencia siguiente (Weber, 2003):



De una forma similar para una serie de cationes:



1.7.3.3 PROCESO DE ABLANDAMIENTO CON RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO

De acuerdo al Manual de Tratamiento de Calderas de la empresa VAPENSA, un ablandador de intercambio iónico trabaja básicamente en dos ciclos: el ciclo de servicio, que permanece mientras se produzca agua suavizada, y el ciclo de regeneración el cual restaura la capacidad agotada de la resina.

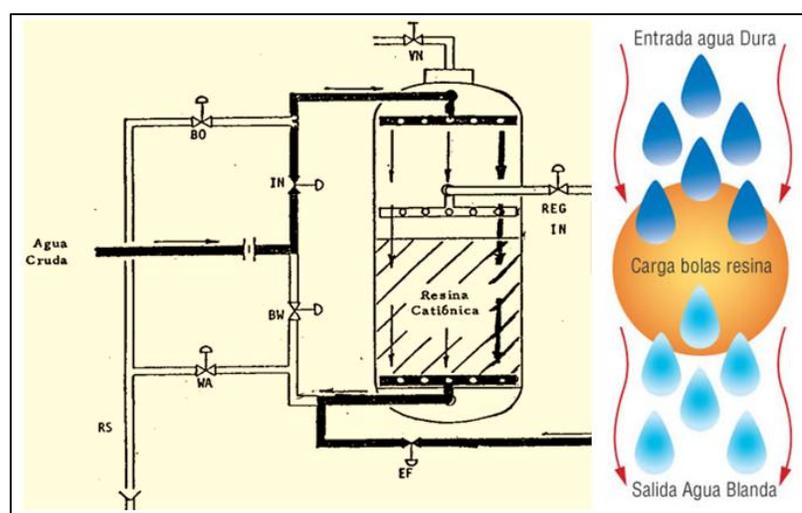
1.7.3.3.1 CICLO DE SERVICIO

Durante el ciclo de servicio, el agua cruda entra al ablandador a través del distribuidor de entrada, fluye hacia abajo a través de la cama de resina y es recogida en la parte inferior, saliendo luego, ya sea hacia otras unidades de intercambio o bien, directamente al sistema de generación de vapor.

El flujo a través de los ablandadores deberá ser tan constante como sea posible, y deberá tenerse especial cuidado para evitar la operación intermitente con variaciones violentas en el flujo.

La operación de una unidad con caudales muy pequeños en relación con su diseño, pueden producir dificultades que terminan en la misma deficiencia para producir agua suavizada.

Figura 21. CICLO DE SERVICIO DEL ABLANDADOR



Fuente: <http://www.vapensa.com/manuales.html>, <http://aguapura.ecodeter.com/noticias/view.asp?ID=43>

1.7.3.3.2 CICLO DE REGENERACIÓN

Cuando una unidad se agota, se debe de poner en regeneración de inmediato. Para determinar el momento final del ciclo de servicio, las plantas pueden hacer uso de varios métodos por ejemplo, la toma frecuente de muestras y hacer determinaciones de dureza, es utilizada por muchos operadores, otros proceden a regenerar guiados solo por determinado número de horas que lleva la unidad en servicio.

Un método muy práctico para determinar el momento de regeneración es medir la cantidad de agua tratada entre regeneraciones. Un medidor de agua conectado a algún tipo de alarma es suficiente.

La regeneración comprende cuatro pasos principales:

1. *Retrolavado*
2. *Introducción de la salmuera*. Solución del cloruro de sodio.
3. *Enjuague Lento*
4. *Enjuague Rápido*

1.7.3.4 INHIBIDORES DE CORROSION:

- ✓ **Sulfito de Sodio (NaSO₃):** Reacciona con el oxígeno produciendo sulfatos de sodio. Se utiliza para calderas de presiones menores a 30 Kg/cm².
- ✓ **Hidracina (N₂H₄):** Reacciona con el oxígeno produciendo nitrógeno y agua sin producir sólidos disueltos. Apta para calderas de alta presión.
- ✓ **Aminas:** Utilizadas para el control de la corrosión en tuberías de retorno de condensado (corrosión por anhídrido carbónico).

1.7.3.5 INHIBIDORES DE FRAGILIDAD CAUSTICA:

- ✓ **Nitratos y nitritos de sodio (NaNO₃-NaNO₂):** Debe usarse donde el agua tiene características de fragilidad.

1.7.3.6 INHIBIDORES DE ADHERENCIAS POR LODOS:

- ✓ **Agentes orgánicos:** Taninos, almidones, derivados de aguas marinas. Evita la formación de lodos adherentes y minimizan el arrastre.

1.7.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS:

Mediante el calentamiento del agua hasta su temperatura de ebullición se precipitan todos los bicarbonatos en forma de carbonatos insoluble que decantan y se extraen del fondo del economizador, eliminando de esta manera la dureza temporal y los gases disueltos. Este procedimiento no separa la dureza permanente.

1.7.5 TRATAMIENTOS MIXTOS:

Consiste en emplear algunos desincrustantes químicos y a su vez calentar el agua eliminando ambas durezas.

1.7.6 TRATAMIENTOS ELÉCTRICOS:

Por este sistema basado en la electrólisis del agua, el zinc en planchas que se sujetan a tubos de chapas, defiende las planchas de hierro de la acción de las sales incrustantes.

1.8 INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

1.8.1 En el Rendimiento de la Caldera:

El rendimiento de la caldera es la relación que existe entre el calor total entregado por el combustible al quemarse y el calor contenido en el vapor. Las incrustaciones producen una capa aislante que se adhiere a las superficies de calefacción de la caldera y que dificultan la transmisión del calor entregado por el combustible. Por esta razón los gases no transmiten todo su calor al agua, perdiéndose combustible y disminuyendo el rendimiento.

1.8.2 En la Seguridad:

Las incrustaciones aíslan las superficies de calefacción del agua, provocando un calentamiento excesivo de éstas, las que pueden llegar a perder gran parte de su resistencia sufriendo deformaciones permanentes, roturas y explosiones.

Por otra parte, cuando a causa del trabajo propio de la caldera, la incrustación se rompe parcial o totalmente, pone en contacto repentino el agua a presión con la plancha recalentada y por lo tanto debilitada, produciendo un aumento de presión interna tal, que provoca la explosión.

1.9 DISEÑO

1.9.1 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR CATIONICO

Para el diseño del intercambiador catiónico se debe considerar un factor que es de gran importancia, y es el contacto que tenga el agua cruda que fluye en la resina catiónica contenida en el tanque, se empleará un diseño tubular o tipo columna lo cual optimizara la eficiencia del paso del agua a través de la resina, favoreciendo también a obtener una

regeneración más eficiente debido a que el regenerante tendrá un mayor contacto con el medio de intercambio.

El diseño, materiales, fabricación y pruebas requeridas deberán estar de acuerdo con las Especificaciones de Proceso, Códigos y Estándares de Ingeniería como los que se mencionan a continuación:

- ASME: AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEER- Sección VIII, DIV.1
- ASTM: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
- NEMA: NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION.
- AISI: AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE.
- AISC: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION.
- ISA: INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA
- NFMA: NATIONAL FAN MANUFACTURES ASSOCIATION.

Principios para el diseño

A continuación se muestra los parámetros básicos para un buen diseño:

- ***Análisis del agua de alimentación de la planta:*** se debe obtener un análisis correcto del agua cruda.
- ***El caudal de producción:*** Es importante saber si la planta debe funcionar con un caudal constante o variable.
- ***La duración del ciclo:*** Los límites del tiempo de funcionamiento están relacionados con la cinética de la resina.
- ***La calidad deseada del agua tratada:*** Es independiente la del análisis del agua cruda al inicio del proceso, pero están directamente relacionados con los procesos de regeneración.

- **La tecnología de regeneración:** Las plantas deben siempre estar diseñadas usando la regeneración en contracorriente.
- **El tamaño de las columnas:** Está relacionada con el volumen de la resina y el contacto que tenga el agua con el medio de intercambio.
- **La selección de las resinas:** Dependerá del tipo de fabricante de resinas.

1.9.1.1 Determinación del Caudal de Alimentación para el Caldero

De acuerdo a la Water Quality Association (WQA), para determinar la cantidad de agua empleada para alimentar un caldero, se necesita hacer algunos cálculos; para convertir la capacidad promedio de la caldera a abastecimiento máximo de agua en galones. La capacidad promedio de una caldera es expresada de muchas maneras, como sea todas se pueden convertir a el factor común que es “Caballos Vapor Caldera”. Por cada caballo vapor caldera, la caldera requiere alimentarse con 4.25 galones por hora.

$$Q_c = BHP \times 4,25$$

Ec. 01

Dónde:

Qc: Es el caudal de alimentación para el caldero (gal/h)

BHP: Capacidad promedio en caballos de vapor del caldero

Factor de conversión: 4,25 gal/h que tiene 1 BHP

✓ *Caudal de Alimentación Total requerida por día*

Se multiplicará el caudal de alimentación obtenido anteriormente, por las horas que opera en un día el caldero.

$$Q = Q_c \times \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

Ec. 02

Dónde:

Q: Es el caudal de alimentación para la caldera (gal/día)

Q_c: Es el caudal de alimentación para la caldera (gal/h)

Horas/día: horas de operación de la caldera.

✓ *Transformación de la Dureza en granos/galón*

Para transformar la dureza en granos/galón se utiliza el factor de conversión: 17,1 ppm = 1 grano/galón

1.9.1.2 Determinación de los granos totales de Dureza a remover por día

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = Q * \text{Dureza}$$

Ec. 03

Dónde:

Q: Caudal de diseño, galón/día

Dureza: Granos/galón

La información lograda en los pasos anteriores nos ofrece la cantidad de dureza a remover al día, esto nos ofrece la información básica para poder seleccionar el suavizador. Debido a la natural importancia de obtener agua suavizada como alimentación a la caldera, debemos de considerar un margen de error en la selección del suavizador. Este margen es común el 15%.

1.9.1.3 Volumen de resina

Usando factor de conversión: $1 \text{ ft}^3 = 30000$ granos de resina, el volumen de resina se calcula por la ecuación siguiente:

$$V_r = \frac{\text{granos} / \text{día}}{30000}$$

Ec. 04

Dónde:

V_r : Volumen de resina, m^3

1.9.2 Diseño del Tanque Intercambiador

Para el diseño del tanque intercambiador de cationes, el volumen que ocupe la resina no debe ser mayor al 80% del volumen total del tanque para que la resina se expanda totalmente en el proceso de retro lavado.

El material recomendado para la construcción del tanque puede ser de: polietileno reforzado, fibra de vidrio, acero al carbón, acero inoxidable, u otro material resistente a la acción corrosiva del agente regenerante.

Se recomienda, procurar distribuir el agua uniformemente a lo largo de la columna, para obtener una relación del gasto y el volumen de resina recomendado para el proceso que se

seleccione esté dentro del rango de 1.5 a 2.5 galones por minuto por cada pie cubico de resina.

Para efectuar estas recomendaciones se requiere que la altura de la columna sea de mayor altura y el agua tenga una mejor distribución al ponerse en contacto con el medio de intercambio.

1.9.2.1 Volumen del tanque intercambiador

El volumen del tanque intercambiador que contiene la resina se calcula mediante la ecuación:

$$V_{Ti} = V_r \times E$$

Ec. 05

Dónde:

V_{Ti} : Volumen del tanque intercambiador, m³

V_r : Volumen de resina, m³

E: Expansión de la resina al retro lavarla. 1,75 cuando es resina catiónica (75%).

1.9.2.2 Área del tanque intercambiador

El área del intercambiador es igual al área de la resina y se calcula mediante la ecuación:

$$A_{Ti} = A_r = \frac{V_r}{h_r}$$

Ec. 06

Dónde:

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador (m^2)

A_r : Área de la resina, (m^2)

h_r : Altura de la resina, m

1.9.2.3 Diámetro del tanque intercambiador

EL diámetro del tanque intercambiador se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 A_{Ti}}{\pi}}$$

Ec. 07

Dónde:

D_i : Diámetro del tanque intercambiador, m

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador (m^2)

1.9.2.4 Altura del Tanque Intercambiador

$$h_{Ti} = \frac{V_{Ti}}{A_{Ti}}$$

Ec. 08

Dónde:

h_{Ti} : Altura del tanque intercambiador, m

V_{Ti} : Volumen del tanque intercambiador, m^3

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador (m^2)

1.9.2.5 Altura de Difusores

✓ *Altura de Difusores Intermedios*

$$h_{di} = \frac{V_r \times I}{A_{Ti}}$$

Ec. 09

Dónde:

h_{di} = altura de difusores intermedios

I = Hinchamiento de la resina. 1,05 para resina catiónica.

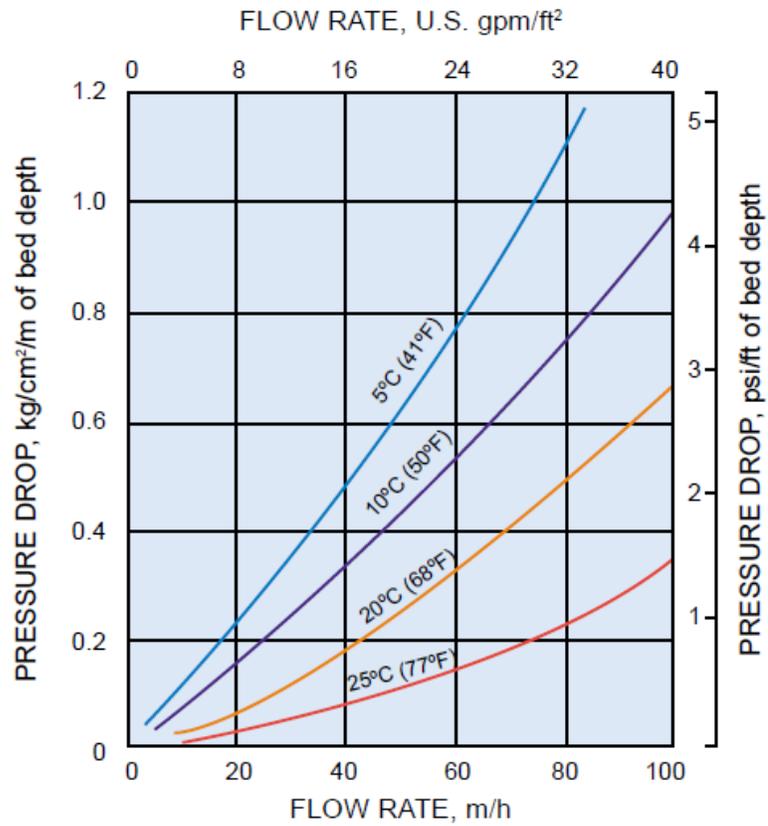
V_r : Volumen de resina, m³

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador (m²)

1.9.2.6 Caída de Presión del Tanque Intercambiador

De acuerdo a las características hidráulicas de la resina que presenta en la hoja técnica podemos determinar la caída de presión en función de la velocidad de flujo del agua utilizando la figura que a continuación se indica:

Figura 22. CAIDA DE PRESIÓN vs VELOCIDAD DE FLUJO



Fuente: Hoja Técnica de la Resina PUROLITE C-100

Para determinar la velocidad de flujo aplicaremos la siguiente ecuación:

$$v_{H_2O \text{ CRUDA}} = \frac{Q}{A_{Ti}}$$

Ec. 10

Dónde:

$v_{H_2O \text{ CRUDA}}$: velocidad del agua cruda (m/h)

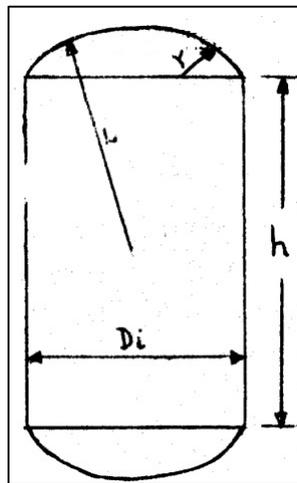
Q = Caudal de diseño, galón/día

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador (m²)

Y consideraremos la temperatura del fluido que se esté utilizando para poder interpolar en el diagrama y encontrar la caída de presión del tanque intercambiador.

1.9.2.7 Diseño Mecánico

Figura 23. DISEÑO MECÁNICO DEL TANQUE INTERCAMBIADOR



Fuente: Procesos de Intercambio Iónico. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/609/Capitulo7.pdf>

1.9.2.7.1 Espesor de las Tapas Torio-esféricas

$$Et = \frac{0,885 \times P \times L}{S \times Es - 0,1 \times P} + 0,0625$$

Ec. 11

Dónde:

Et: Espesor de las tapas torio-esféricas, plg

P: Presión máxima de trabajo (kg/cm²)

$L=D_i$: Diámetro interno en metros. (m)

S: Resistencia del material (kg/cm^2)

Material: Acero al Carbón, S.A. 285 Gr. "C"; $S= 966,9 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Es: Factor por soldadura, 1,0 totalmente radiografiado.

Factor por formado de tapas: $0,0625 \text{ plg}= 0,016 \text{ m}$

Nota: Et se lleva a espesor comercial.

✓ *Cálculo del radio*

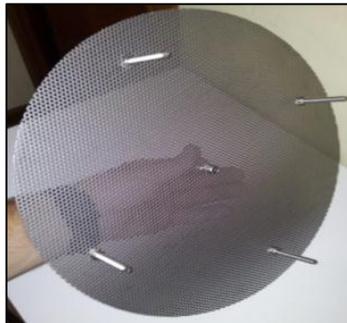
$$r = \frac{L}{16}, \text{ en metros (m)}$$

Ec. 12

$L=D_i$: Diámetro interno en metros. (m)

✓ Espesor del Falso Fondo

Figura 24. FALSO FONDO



Fuente: http://insumosprost.cl/tienda/product.php?id_product=102

$$tf = 10^{-2} \times a \times (0,514P)^{1/2}$$

Ec. 13

Dónde:

tf: Espesor comercial del falso fondo

a=r: Radio del tanque (plg)

Para la determinar la Presión se utilizará la siguiente ecuación en donde se utiliza la relación de 1 psi por pie, multiplicado para el valor del radio del tanque en pies:

$$P = 1 \frac{\text{psi}}{\text{pie}} \times r (\text{pies})$$

Ec. 14

✓ *Deflexión del Falso Fondo*

La deflexión hace referencia al grado en el que un elemento estructural, se deforma bajo la aplicación de una fuerza o la acción de una carga aplicada sobre aquella estructura.

$$\Delta = \frac{p'(r)^4}{32(mE)tf^3}$$

Ec. 15

Dónde:

$$p' = 1 \frac{\text{psi}}{\text{pie}} \times D_i (\text{pies})$$

r: Radio en pulgadas

mE: Módulo de elasticidad (30×10^6 lb/plg²)

tf: Espesor comercial del falso fondo (plg)

Si el valor de la deflexión del falso fondo es menor de 1/4" se toma el espesor calculado del falso fondo. Normalmente esto ocurre.

1.9.2.8 Diseño del Proceso de Regeneración

1.9.2.8.1 RETROLAVADO

El retrolavado se realiza en contracorriente es decir desde la parte inferior del lecho debido a que durante el flujo de servicio al descender el agua cruda, se va acumulando materiales en suspensión a través del lecho de resina.

El flujo inverso de agua cruda en la fase del retrolavado va a levantar y expandir la resina extrayendo materiales extraños y partes finas de resina quebrada que ya no tiene ninguna utilidad.

Permite realizar un reacomodo de la resina ubicando las partículas más pequeñas en la parte superior y las más grandes en la parte inferior. Esto permite una mejor distribución de la sal durante la regeneración.

El retrolavado se lleva a cabo durante aproximadamente 10 minutos o hasta que el efluente salga limpio. El caudal debe ser suficiente para producir una expansión del lecho de por lo menos un 50%, pero sin ser tan excesivos que provoque la salida y pérdida de la resina con el agua al desagüe.

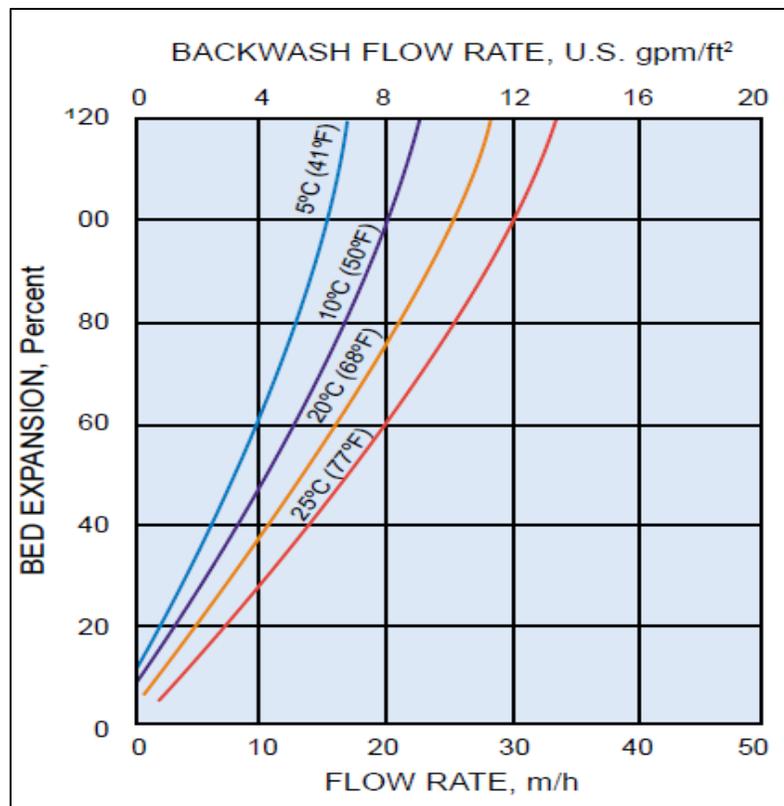
Por lo general los fabricantes del equipo estipulan los caudales adecuados para cada paso y las instrucciones de operación que deben seguirse estrictamente.

✓ Compactación del Lecho

El fabricante recomienda una velocidad de compactación dentro del lecho de la resina 3 veces la del retrolavado convencional, el cual corresponde al 50 – 75 % de la expansión de la resina al retro lavarla.

De acuerdo a la gráfica que nos proporciona el fabricante, podremos determinar la velocidad de retrolavado.

Figura 25. LAVADO DE EXPANSIÓN



Fuente: Hoja Técnica de la Resina PUROLITE C-100

✓ Velocidad de Compactación

$$v_{comp} = 3 v_{retrolavado}$$

Ec. 16

Dónde:

v_{comp} : Velocidad de compactación de la resina dentro del intercambiador, (m/h).

$v_{retrolavado}$: Velocidad de retrolavado de la resina dentro del intercambiador.

✓ Caudal de Compactación

$$Q_{comp} = v_{comp} \times A_{Ti}$$

Ec. 17

Dónde:

Q_{comp} : Caudal de compactación de la resina dentro del intercambiador, (m/h)

v_{comp} : Velocidad de compactación de la resina dentro del intercambiador, (m/h).

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador

✓ Volumen de compactación

$$V_{comp} = Q_{comp} \times t_{comp}$$

Ec. 18

Dónde:

V_{comp} : Volumen de compactación, (m³)

t_{comp} : Tiempo de compactación, (h)

El tiempo de compactación se considera a partir de las especificaciones del fabricante y es de 10 min.

1.9.2.8.2 CICLO DE REGENERACIÓN

Para los ciclos de regeneración se deberá preparar una solución de NaCl al 10% la misma que atravesará el lecho de la resina se la debe hacer de manera lenta para que exista un contacto íntimo entre la solución regenerante y la resina.

✓ Velocidad y Tiempo de Regeneración

La velocidad de regeneración (v_{reg}) no es la misma que en el servicio. El fabricante facilita el valor del caudal de regeneración (Q_{reg}), que debe estar comprendido entre 0,25-0,90 gpm/ft³, en unidades del sistema internacional corresponde de 5,07- 50,74 m³/h.

Se va a seleccionar el caudal de 20 m³/h para determinar posteriormente la velocidad y el tiempo de regeneración se considerará entre 15 a 60 min dependiendo el proceso.

$$v_{reg} = \frac{Q_{reg}}{A_{Ti}}$$

Ec. 19

Dónde:

v_{reg} : Velocidad de regeneración, (m/h)

Q_{reg} : Caudal de regeneración, (m³/h)

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador, (m²)

1.9.2.8.3 Enjuague del Lecho de la Resina.

✓ Enjuague Lento

El enjuague lento de la columna se encuentra en función del volumen de la resina existente, para ello el fabricante hace referencia a la cantidad de agua necesaria para esta fase.

$$V_{1-H2O} = q_1 \times Vr$$

Ec. 20

Dónde:

V_{1-H2O} : Volumen del agua enjuague lento del lecho de resina, (m³)

q_1 : Cantidad de agua para el enjuague lento de acuerdo al fabricante de la resina, (m³/ m³ resina)

Vr : Volumen de la resina, (m³)

Tanto la velocidad y el caudal de enjuague, serán iguales a la velocidad y caudal de la fase de regeneración. El tiempo de enjuague lento se considera los 30 minutos aproximadamente de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

✓ *Enjuague Rápido*

Para el enjuague rápido requiere de 24 a 345 gal/ft³ de agua para esta fase:

$$V_{2-H_2O} = q_2 \times Vr$$

Ec. 21

Dónde:

V_{2-H_2O} : Volumen del agua enjuague rápido del lecho de resina, (m³)

q_2 : Cantidad de agua para el enjuague rápido de acuerdo al fabricante de la resina, (m³/m³ resina)

Vr : Volumen de la resina, (m³)

De acuerdo a las especificaciones del fabricante de resina se considera un tiempo de 30 min aproximadamente del enjuague rápido, por tanto determinaremos el caudal de enjuague rápido:

$$Q_{enj\ rápido} = \frac{V_{2-H_2O}}{t_{enj\ rápido}}$$

Ec. 22

Dónde:

$Q_{enj\ rápido}$: Caudal de enjuague rápido del lecho de resina, (m³/min)

V_{2-H_2O} : Volumen del agua de enjuague rápido del lecho, (m³)

$t_{enj\ lento}$: Tiempo de enjuague rápido, (min)

Para determinar la velocidad en esta fase tenemos la siguiente ecuación:

$$v_{enj\ rápido} = \frac{Q_{enj\ rápido}}{A_{Ti}}$$

Ec. 23

Dónde:

$v_{enj\ rápido}$: Velocidad de enjuague rápido del lecho de resina, (m/min)

$Q_{enj\ rápido}$: Caudal de enjuague rápido del lecho de resina, (m³/min)

A_{Ti} : Área del tanque intercambiador, (m²)

1.9.3 DISEÑO DE TANQUES PARA AGUA CRUDA, AGUA ABLANDADA, REGENERANTE, PRODUCTO QUÍMICO.

Para determinar las dimensiones de cada uno de los tanques, aplicaremos la condición de superficie mínima que a continuación se describe:

$$\begin{array}{l} V = \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S = (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2\pi \cdot R^2) \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} V = \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S = (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2\pi \cdot R^2) \end{array}} \right\} \rightarrow S = \frac{2V}{R} + 2\pi R^2$$

$$\xrightarrow{\text{Derivando}} \frac{DS}{DR} = 0 = -\frac{2V}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}$$

✓ *Radio del Tanque*

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{liq}}{2\pi}}$$

Ec. 24

Dónde:

R: Radio del tanque en metros, (m)

V_{liq}: Volumen del líquido (m³)

✓ *Diámetro*

$$D = 2R$$

Ec. 25

Dónde:

D: Diámetro del tanque, (m)

R: Radio del tanque en metros, (m)

✓ *Longitud envolvente (altura)*

$$L = \frac{V_{liq}}{2 \times R^2}$$

Ec. 26

Dónde:

L: Longitud envolvente o altura, (m)

R: Radio del tanque en metros, (m)

V_{liq} : Volumen del líquido (m^3)

✓ *Área del Tanque*

$$A = \pi R^2$$

Ec. 27

Dónde:

A: Área del tanque, (m^2)

R: Radio del tanque en metros, (m)

✓ *Volumen Final del Tanque*

$$V_T = \pi \cdot R^2 \cdot L$$

Ec. 28

Dónde:

V_T : Volumen final del tanque, (m^3)

L: Longitud envolvente o altura, (m)

R: Radio del tanque en metros, (m)

1.9.3.1 Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda

El diseño de este tanque nos permitirá almacenar el agua cruda, que posteriormente será tratada en el intercambiador catiónico.

✓ **Medición del Caudal:**

En gran parte el agua para los sistemas de abastecimientos de centros recreativos o de poblaciones rurales provienen de manantiales, la cantidad de agua que atraviesa por un conducto trasversal se conoce caudal y se lo puede determinar por medio del método volumétrico.

Consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse fácilmente con agua un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal:

$$Q_a = \frac{V}{t}$$

Ec. 29

Dónde:

Qa: Caudal de diseño para el almacenamiento, L/s

V: Volumen del recipiente, L

t: Tiempo que tarda en llenarse el recipiente, s

Con la finalidad de definir el tiempo promedio, se recomienda realizar como mínimo 5 mediciones.

Para la determinar las variables: radio, diámetro, la longitud, el área y el volumen final del tanque que almacenará el agua cruda se aplicaran las ecuaciones, Ec.24, Ec.25, Ec.26, Ec.27 y Ec.28.

Para la determinación de las variables de los otros tanques se considerara la condición de la superficie máxima, de acuerdo a los volúmenes que se requiere.

1.9.3.2 DISTRIBUIDORES DE SALMUERA

Estos deben estar contruidos de materiales resistentes a la corrosión ya que en su interior distribuyen la salmuera utilizada para la regeneración de manera uniforme. Entre los materiales más usados para la construcción de estos sistemas se encuentra el latón rojo y otras aleaciones.

1.9.3.3 VÁLVULAS DE CONTROL

Son las encargadas de regular el flujo de aguas crudas, aguas suavizadas, agua de retrolavado, salmuera y agua de enjuague. Las válvulas de control pueden ser manuales, automáticas o semiautomáticas, siendo que muchos de estos sistemas de ablandamiento usan válvulas multifunción que evitan la operación de múltiples válvulas manuales reduciendo el riesgo de la apertura incorrecta de válvulas manuales.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

En el Parque Acuático los Elenes del cantón Guano actualmente usan el agua proveniente de vertientes naturales que brotan de la peña de Langos para abastecer a la caldera, debido a que el agua contienen gran cantidad de minerales causan problemas en el sistema de calentamiento, ocasionando pérdidas económicas, energéticas y operacionales.

La caracterización física del agua se realizó in situ y la caracterización química fue realizada en el Laboratorio de Análisis Técnico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, con el fin de obtener información necesaria para establecer un correcto tratamiento al agua y generar solución a los problemas ocasionados por la dureza o la corrosión.

2 MUESTREO

2.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La línea de investigación se realizó en el Parque Acuático Los Elenes del Cantón Guano Provincia de Chimborazo, en la cual utilizan el agua de las vertientes de la peña de Langos para alimentar el caldero.

2.1.2 PROCEDIMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La recolección de muestras se fundamenta en el STANDARD METHODS 2310 A y B.

Tabla 01. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS, STANDARD METHODS 2310 A Y B

Fundamento	Se basa en la selección de muestras de una población para estudiar algún aspecto de los individuos que la componen.
Materiales	✓ Envase de plástico o vidrio limpios y herméticamente cerrados de capacidad de 500 ml.
Técnica	Recoger tres muestras, cada una en un volumen aproximado de 500 ml. Al momento de tomar la muestra se debe realizar las siguientes pruebas: ✓ pH ✓ Temperatura del agua ✓ Temperatura ambiental

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Pérez, Jessica C.

2.1.2.1 Muestras representativas.

En términos generales, cuando menos tiempo transcurra entre la toma de la muestra y el análisis en el laboratorio mucho más satisfactorio serían los resultados. El tiempo máximo permitido para los diferentes análisis son de 48 horas.

Para esto se debe elegir la mejor técnica de recolección. Antes de llenar el envase destinado para la muestra se debe enjuagar tres veces con la misma muestra. Se debe llevar un registro de cada muestra recolectada y cada frasco se debe identificar adecuadamente.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El análisis físico – químicos se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Se recogió 5 muestras durante un mes, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio el mismo día en un periodo de 12 horas teniendo el debido cuidado con la finalidad de no alterar sus parámetros y obtener resultados de la caracterización reales.

A partir de las caracterizaciones se identificará los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en las normas de la American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Norma Española (UNE 9-075-92) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004) para calderas de baja presión.

2.2.2 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se realizó la caracterización físico – química de cada una de las muestras recolectadas, siendo los parámetros físico - químicos analizados: temperatura, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, hierro, sólidos disueltos.

2.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.3.1 MÉTODOS

Los análisis se realizaron utilizando los métodos que están adaptados al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el Manual de Análisis de Agua, métodos HACH.

TABLA 02. MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL AGUA

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Temperatura	Electrométrico	Utilización del electrodo de cristal adecuado para la lectura de la temperatura.
pH	Potenciométrico	Se hace uso del electrodo de cristal, se lee y registra el valor obtenido.
Conductividad	Electrométrico	Utilización del conductímetro.
Turbiedad	Nefelométrico	Utilización del turbidímetro.
Cloruros	Volumétrico	25 ml de muestra + 4 gotas de K_2CrO_4 . Titular con $AgNO_3$ (0,01N) de amarillo a ladrillo.
Dureza	Volumétrico	25 ml de muestra + 2 ml Buffer pH 10 + indicador de Negro de Eriocromo T. Titular con

Continúa...

		EDTA (0,02 M) de rojo a azul.
Calcio	Volumétrico	25 ml de muestra + 1 ml KCN + indicador de Murexida. Titular con EDTA (0,02M)
Alcalinidad	Volumétrico	25 ml de muestra + 2 gotas de Fenolftaleína. Titular con H ₂ SO ₄ hasta incoloro (pH = 6,1) + 3 gotas de Naranja de Metilo. Titular con H ₂ SO ₄ de naranja a rosado (pH = 8).
Sulfatos	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 680 SULFATOS (SulfaVer 4), llenar una celda con 25 ml de muestra añadir el contenido de un sobre de reactivo de SulfaVer 4 en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 5 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerar, colocar la muestra y leer el valor.
Hierro	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 265 Hierro FerroVer, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de Hierro FerroVer en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 3 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerar, colocar la muestra y leer el valor.
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Utilización del electrodo de cristal adecuado para la lectura de sólidos totales disueltos.

Fuente: Técnicas del Laboratorio de Análisis Técnicos

Elaborado por: Pérez, Jessica C.

2.3.2 TÉCNICAS

A continuación se indican los métodos empleados para cada uno de los análisis basados en los HACH MODEL DR/4000V y los STANDARD METHODS:

TEMPERATURA

Tabla 03. TEMPERATURA - MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
La temperatura del agua se debe tomar in situ es decir en el lugar donde se está realizando el muestreo. En caso de no hacer la medición se la hará en el laboratorio tan pronto llegue.	<ul style="list-style-type: none"> → Electrodo sensible de Hach → Vaso de precipitación → Muestra problema 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada. → Encender el equipo y calibrarlo. → Colocar el electrodo en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra. → Tomar la lectura. 	Lectura directa.

*Fuente: *HACH MODEL DR/4000V*

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Tabla 04. pH - STANDARD METHODS *4500 HB

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>La base de la determinación de medición electrométrica del pH es la actividad de los iones de hidrógeno por medida potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia. El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua tiene un pH menor a 7 se dice que es ácida, mayor a 7, básica y un valor igual a 7 es neutra.</p>	<p>→ pH metro → Vaso de precipitación</p>	<p>→ Lavar el electrodo del pH metro con agua destilada y calibrar el equipo con las soluciones Buffer pH 4, pH 7 y pH 10. → Colocar el electrodo en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra. → Tomar la lectura.</p>	<p>Lectura directa.</p>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

CONDUCTIVIDAD

Tabla 05. CONDUCTIVIDAD - STANDARD METHODS *2510

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>La conductividad es la capacidad que tiene una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Está relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos presentes en el agua.</p> <p>La escala de 1999,9 μS, corresponde a la conductividad de las agua potables naturales.</p>	<p>→ Conductímetro</p> <p>→ Vaso de precipitación</p>	<p>→ Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada.</p> <p>→ Colocar el electrodo del conductímetro en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.</p> <p>→ Tomar la lectura.</p>	<p>Lectura directa.</p>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

TURBIDEZ

Tabla 06. TURBIDEZ - STANDARD METHODS *2130 B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>El método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por una muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión patrón de referencia en las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.</p>	<p>→ Turbidímetro → Celda para turbidímetro.</p>	<p>→ Colocar agua destilada en la celda para calibrar el equipo. → Colocar la muestra en la celda → Tomar la lectura.</p>	<p>Lectura directa.</p>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

CLORUROS

Tabla 07. CLORUROS - STANDARD METHODS *4500 Cl B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
Los cloruros se pueden determinar en una solución neutra ligeramente alcalina mediante una titulación con nitrato de plata, usando como indicador cromato de potasio.	<ul style="list-style-type: none"> → Erlenmeyer → Bureta → Pipeta volumétrica → AgNO₃ 0,01 N → Indicador K₂CrO₄ 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer → Agregar 4 gotas de K₂CrO₄. → Titular con AgNO₃ hasta que dé un viraje de amarillo a ladrillo. 	Multiplicar por el factor correspondiente.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

DUREZA

Tabla 08. DUREZA - STANDARD METHODS *2340 B Y C

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>La dureza se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio presentes en el agua como carbonato de calcio y de magnesio, en miligramos por litro.</p> <p>Para la determinación de la dureza se utiliza el método complexométrico en el cual se emplea la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente complejante; formando complejos estables con los metales Ca^{2+} y Mg^{2+}.</p>	<ul style="list-style-type: none"> → Erlenmeyer → Bureta → Pipeta volumétrica → EDTA 0,02 M → Solución Buffer pH 10 → KCN → Negro de Eriocromo T. 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer. → Agregar 2 ml de solución Buffer pH 10. → Agregar 1 ml de KCN. → Añadir el indicador Negro de Eriocromo T. → Titular con EDTA hasta que se dé un viraje de rojo a azul.
Cálculo de la Dureza		
$[CaCO_3] = \frac{V_1 \times M \times 10^5}{V_2}$	<p>Dónde:</p> <p>$[CaCO_3]$: concentración del carbonato de calcio en ppm (mg/l)</p> <p>V_1: volumen consumido de EDTA (ml)</p> <p>M: molaridad exacta del EDTA</p> <p>V_2: volumen de la muestra (ml)</p>	

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

CALCIO

Tabla 09. CALCIO - STANDARD METHODS *3500 Ca

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Las sales de calcio contribuyen a la dureza total del agua.</p> <p>La cantidad de calcio se puede determinar directamente mediante una valoración con EDTA 0,02M.</p>	<ul style="list-style-type: none"> → Erlenmeyer → Bureta → Pipeta volumétrica → EDTA 0,02 M → KCN → NaOH 1 N → Indicador Murexida 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer. → Agregar 1 ml de KCN. → Agregar 1 ml de NaOH. → Añadir el indicador Murexida. → Titular con EDTA hasta que dé un viraje de rosado a lila.
CÁLCULOS		
$[Ca^{2+}] = \frac{V_2 \times M \times 4000}{V}$		<p>Dónde:</p> <p>V_2: volumen de EDTA (ml)</p> <p>M: molaridad exacta del EDTA</p> <p>V: volumen de la muestra (ml)</p>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Pérez, Jessica C.

MAGNESIO

Tabla10. MAGNESIO - STANDARD METHODS *3500 Mg

FUNDAMENTO	
<p>Se presentan dos métodos para la determinación de magnesio, aplicables a todas las aguas naturales. El magnesio se puede determinar por el método gravimétrico sólo cuando se han eliminado previamente las sales del calcio, y por lo general, se aplica este método en el filtrado y lavados de la determinación Gravimétrica o al permanganato del calcio. Por el método fotométrico, el magnesio se determina directamente en la muestra en presencia de sales de calcio. Ambos métodos son aplicables a todas las concentraciones seleccionando porciones alícuotas adecuadas, dependiendo su selección de preferencias personales. Pero en el laboratorio, el método más rápido y económico es cuantificar magnesio, por diferencia de pesos entre la dureza total y la del calcio.</p>	
CÁLCULOS	
$[Mg^{2+}] = \frac{(V_2 - V_1) \times M \times 24300}{V}$	<p>Dónde:</p> <p>V_2: volumen de EDTA (ml) consumidos en la determinación del Ca^{2+}</p> <p>V_1: volumen de EDTA (ml) consumidos en la determinación de la Dureza</p> <p>M: molaridad exacta de EDTA</p> <p>V: volumen de la muestra</p>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

ALCALINIDAD

Tabla 11. ALCALINIDAD - STANDARD METHODS *2320 B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medio puede variar con el pH.</p> <p>Se utiliza fenolftaleína como indicador para cuantificar la alcalinidad de hidróxidos y parte de carbonatos, y naranja de metilo para cuantificar la alcalinidad restante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> → Erlenmeyer → Bureta → Pipeta volumétrica → H₂SO₄ 0,1 N → Indicador Fenolftaleína → Indicador Naranja de Metilo 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer → Agregar 4 gotas de fenolftaleína → Titular con H₂SO₄ hasta que dé un viraje de rosado a incoloro → Agregar 3 gotas de naranja de metilo. → Titular con H₂SO₄ hasta que dé un viraje de naranja a rosado.
CÁLCULOS		
$Alcalinidad = \frac{G \times N \times 50000}{T}$	<p>Dónde:</p> <p>Alcalinidad: mg CaCO₃/l</p> <p>G: volumen del ácido sulfúrico consumidos en la titulación (ml)</p> <p>N: normalidad del H₂SO₄</p> <p>T: volumen de la muestra (ml)</p>	

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Pérez, Jessica C.

SULFATOS

Tabla 12. SULFATOS - MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
Los sulfatos pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente.	<ul style="list-style-type: none"> → Equipo Hach → Celdas de la Hach → Pipeta → Agua destilada → Reactivo SulfaVer 4 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar 25 ml de de agua destilada en una celda y encerrar el equipo. → Colocar 25 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de SulfaVer 4 en polvo. → Colocar la celda en el equipo → Tomar la lectura que indica en el equipo. 	Lectura directa

*Fuente: *HACH MODEL DR/4000V*

Elaborado por: Pérez, Jessica C.

HIERRO

Tabla 13. HIERRO - MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
El hierro se encuentra principalmente en aguas subterráneas, en cantidades apreciables, está presente como Fe^{2+} creando problemas en suministros de agua.	<ul style="list-style-type: none"> → Equipo Hach → Celdas de la Hach → Pipeta → Agua destilada → Reactivo FerroVer 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar 10 ml de de agua destilada en una celda y encerar el equipo. → Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de FerroVer en polvo. → Colocar la celda en el equipo → Tomar la lectura que indica en el equipo. 	Lectura directa

*Fuente: *HACH MODEL DR/4000V*

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Tabla 14. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS - MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA	CÁLCULOS
Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua.	<ul style="list-style-type: none"> → Electrodo sensible de Hach → Vaso de precipitación → Muestra problema 	<ul style="list-style-type: none"> → Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada. → Colocar el electrodo para sólidos totales disueltos en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra. → Tomar la lectura. 	Lectura directa

*Fuente: *HACH MODEL DR/4000V*

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

2.4 DATOS EXPERIMENTALES

2.4.1 DIAGNOSTICO

Actualmente el agua de alimentación para las calderas del Parque Acuático los Elenes del Cantón Guano es transportada desde la vertiente e ingresa directamente a la caldera sin recibir ningún tratamiento previo.

Para determinar el estado actual del agua se realizaron varios análisis físico-químico, conociendo el estado actual del agua que ingresa se podrá establecer el diseño de un sistema de tratamientos adecuado para el agua, permitiéndonos asegurar el buen funcionamiento de los calderos y la seguridad de operación de los mismos, evitando gastos innecesarios a la institución.

2.4.2 DATOS

2.4.2.1 Caracterización del Agua de Captación

Las muestras para la caracterización del agua se tomaron en diferentes semanas dependiendo del clima, realizándose 5 determinaciones, en las cuales se puede notar los parámetros que se encuentran fuera del límite permisible para aguas de alimentación de calderas de baja presión, siendo entre ellos el pH, la dureza indicándonos el alto contenido de calcio y magnesio, los bicarbonatos y los sulfatos.

Las mediciones de temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, turbiedad se los realizaron in situ, la determinación de los demás parámetros se realizaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a continuación los resultados obtenidos de las diferentes determinaciones:

TABLA 15. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA - ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA “LANGOS”

Determinación	Unidades	Límite	MUESTRAS					PROMEDIO
			M1	M2	M3	M4	M5	
pH	Unid	7-10	6,72	6,71	6,79	6,79	6,71	6,74
Conductividad	μSiems/cm	Max: 3500	1375	1395	1407	1395	1403	1395
Turbiedad	UNT	5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cloruros	mg/l		31	31	31,4	31,2	31,4	31,2
Dureza	mg/l	Max.2 0	552	558, 5	536	558, 5	539	548,8
Calcio	mg/l	-	116, 1	116, 4	116, 2	116, 1	116, 2	116,2
Magnesio	mg/l	-	62,6	62,9	62,7	62,9	62,9	62,8
Alcalinidad	mg/l	350	317	300	319	305	319	312
Bicarbonatos	mg/l	170	318	318, 4	318, 2	318, 3	318, 2	318,2
Sulfatos	mg/l	200*	598	665	650	670	650	636,6
Hierro	mg/l	1	0,06	0,05	0,01	0,05	0,01	0,036
Sólidos Disueltos	mg/l	Max: 3500	550	562	558	550	560	560

*UN, Water for industrial use. Valores referenciales aguas de calderas de presión baja menor a 150 psi AMBA, ASME, UNE 9-075-92 (Norma Española), EPA/625/R-92/004, 1992.

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

2.4.2.2 Parámetros fuera de los Límites Permisibles

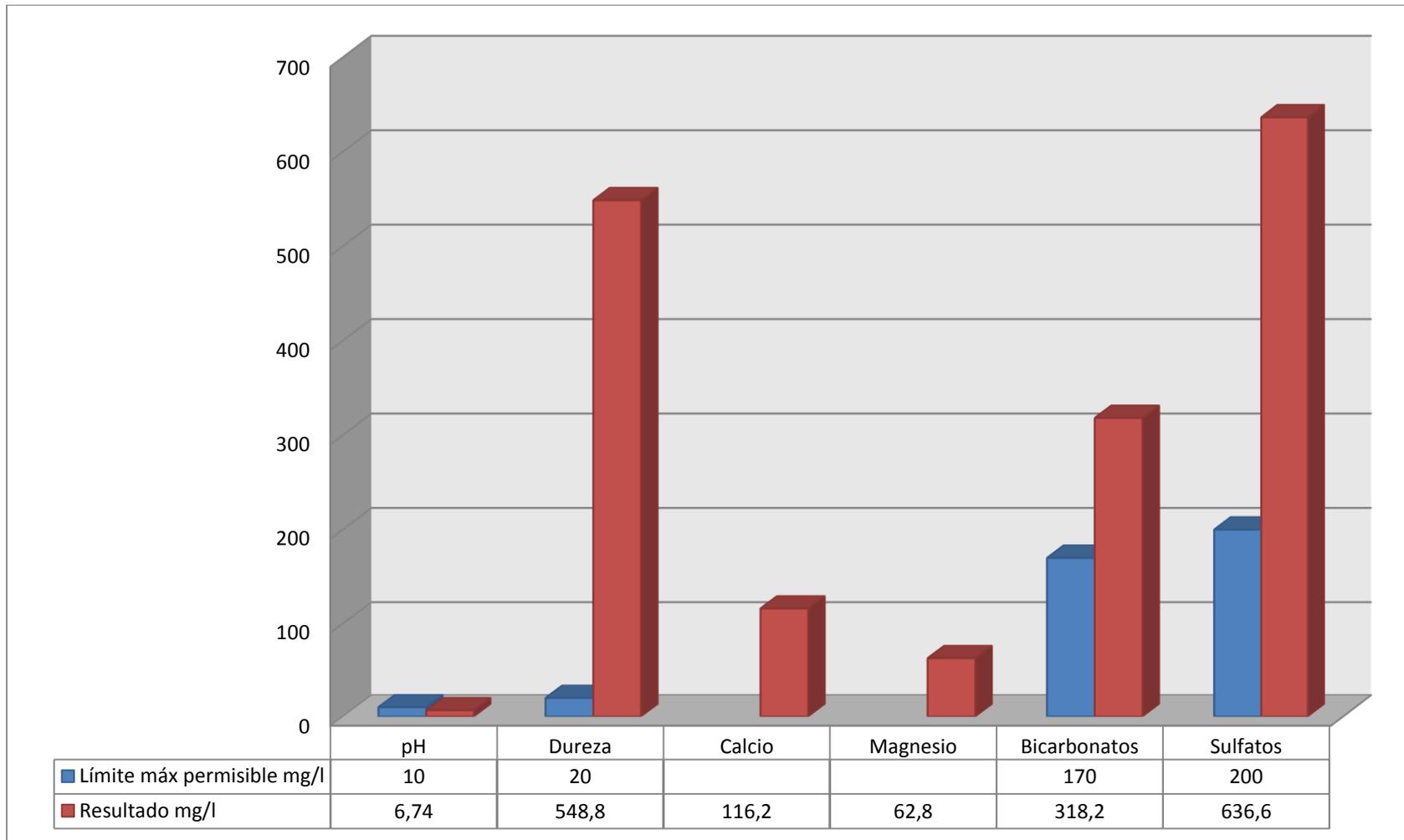
Una vez que se realizó la caracterización del agua de vertiente de los Langos que es utilizada para alimentar la caldera del Parque Acuático los Elenes, se comparó con los límites permisibles establecidos en la norma American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Norma Española (UNE 9-075-92) y la Agencia de Protección Ambiental (AEPA/625/R-92/004) y se identificó 6 parámetros físico - químicos fuera de norma, siendo éstos: pH, dureza, calcio, magnesio, bicarbonatos y sulfatos.

TABLA 16. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS FUERA DE NORMA

Determinación	Unidades	Límite máx. permisible	Resultado
pH	Unid	7-10	6,74
Dureza	mg/l	Max.20	548,8
Calcio	mg/l	---	116,2
Magnesio	mg/l	---	62,8
Bicarbonatos	mg/l	170	318,2
Sulfatos	mg/l	200	636,6

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Gráfico 01. PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS FUERA DE NORMA



Fuente: PÉREZ, Jessica, C.

2.5 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Después de haber realizado la caracterización del agua e identificado los parámetros fuera de los límites permisibles señalados en las normas American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Norma Española (UNE 9-075-92) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004), se observa que la cantidad de dureza en el agua es muy elevada debido a la gran cantidad de sales de calcio y magnesio que contiene para ello se realizaron ensayos de intercambio iónico en columna de vidrio utilizando resina catiónica PUROLITE C – 100 E. Estos ensayos fueron ejecutados en el Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.5.1 ENSAYOS DE INTERCAMBIO IÓNICO EN COLUMNA

Para estos ensayos se utilizaron columnas de vidrio de 70 cm de longitud y 2 cm de diámetro interno en las cuales se empaquetó la resina de intercambio catiónico de ácido fuerte (PUROLITE C – 100 E) activadas con solución de cloruro de sodio, para remover la dureza generada por las sales de calcio y magnesio presentes en el agua de alimentación.

Las resinas que se emplearon son muy estables y de rápida velocidad de intercambio que pueden durar de entre 15 y 20 años o más siempre y cuando reciban un tratamiento adecuado.

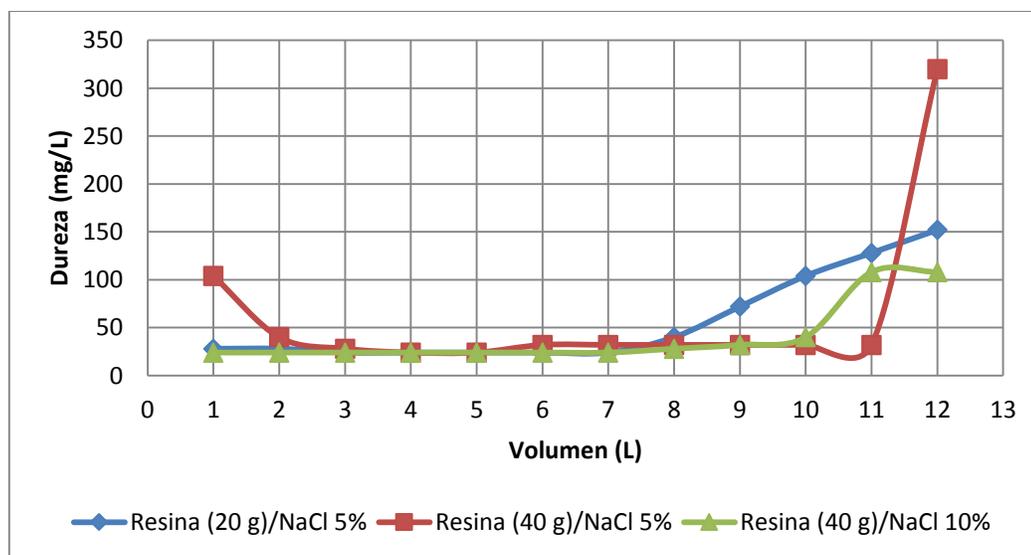
A continuación se presenta la siguiente tabla con los valores de dureza obtenidos al hacer pasar un litro de agua cruda (1000 ml) a través de la columna que contenía la resina activada, el tiempo que se demoraba en atravesar el intercambiador es de 60 min por litro de agua en los tres casos:

Tabla 17. CAPACIDAD DE LA RESINA PARA ABLANDAR

Columna de Intercambio Catiónico	Solución NaCl al 5% / Peso de resina 20 g	Solución NaCl al 5% / Peso de resina 40 g	Solución NaCl al 10% / Peso de resina 40 g
Volumen (L)	Dureza (mg/L)	Dureza (mg/L)	Dureza (mg/L)
1	28	104	24
2	28	40	24
3	24	28	24
4	24	24	24
5	24	24	24
6	24	32	24
7	24	32	24
8	40	32	28
9	72	32	32
10	104	32	40
11	128	32	108
12	152	320	108

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Gráfico 02. PUNTO DE SATURACIÓN DE LA RESINA



Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

En la gráfica se observa la tendencia de saturación de la resina, esto al compararla con los valores de dureza obtenidos al hacer pasar un litro de agua por el intercambiador catiónico:

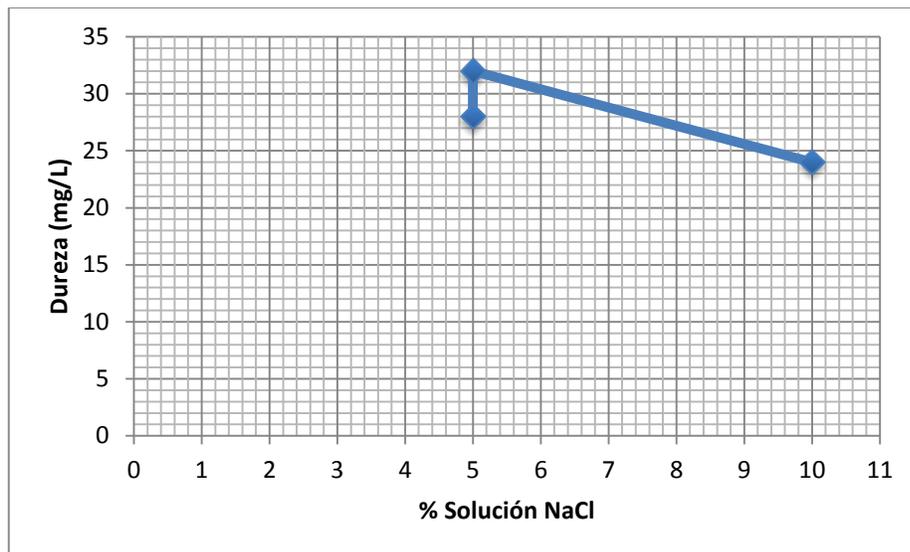
- Para el caso de los 20 g de resina activada al 5% la resina inicia a saturarse entre el séptimo litro de agua aumentando progresivamente.
- En cuanto a los 40 g de resina activada al 5% se observa indicios de saturación en el sexto litro, observando que la dureza de 24 ppm aumentó a 32 ppm, disparándose el valor de la dureza al pasar el doceavo litro por el intercambiador de cationes.
- Finalmente los 40 g de resina activada al 10% la saturación inicia a partir del décimo litro de agua y los valores de la dureza aumenta de manera moderada en el transcurso en el que agua atraviesa la columna del intercambiador.

Tabla 18. INTERCAMBIO CATIÓNICICO

Columna de vidrio	Peso de resina catiónica (g)	Solución NaCl	Tiempo de activación (min)	Agua de lavado (ml)	Dureza (mg/L)
1	20	5%	30	500	28
2	40	5%	30	1000	32
3	40	10%	30	1000	24

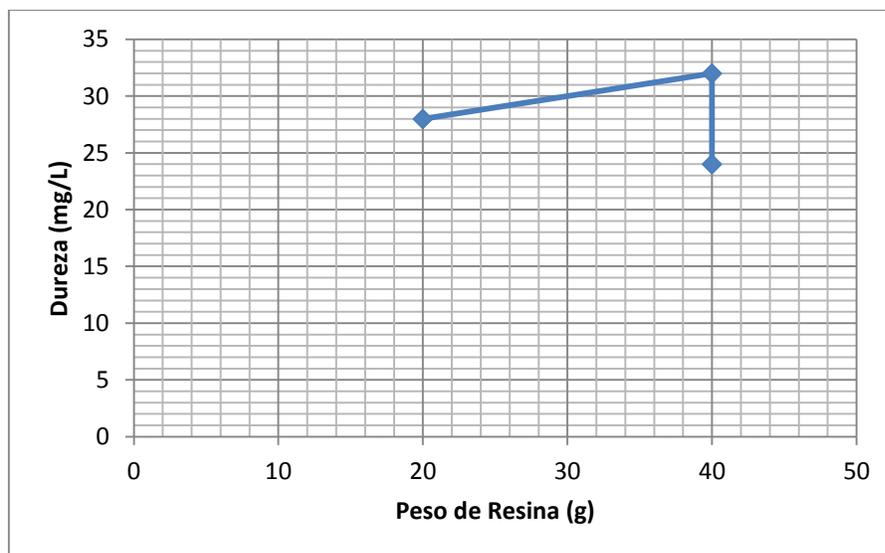
Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Gráfico 03. % SOLUCIÓN NaCl vs DUREZA



Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Gráfico 04. PESO DE RESINA vs DUREZA



Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los ensayos realizados se observa que la resina catiónica de ácido fuerte, PUROLITE C – 100 E, empleada es muy eficiente y fácil de activar, tiene una gran capacidad para la remoción de la dureza.

Considerando estos resultados se optó por el tercer ensayo que está constituido por 40g de resina activada al 10% ya que en comparación con los dos ensayos anteriores se obtiene una mayor remoción de la dureza, la capacidad de intercambio se da desde el primer litro que atravesó la columna manteniéndose constante, al igual que el grado de saturación de la resina va aumentando de manera progresiva.

Esta opción implica una inversión que conllevará al ahorro económico, energético, aumentará la eficiencia del equipo y del proceso de calentamiento.

Figura 01. ENSAYO DEL ABLANDAMIENTO DE AGUA UTILIZANDO RESINA IÓNICA



Fuente: PÉREZ, Jessica, C.

Las pruebas y los ensayos se realizaron durante el lapso de tres meses, estableciendo resultados confiables el posterior diseño de este tratamiento, que lograra contribuir con el

mejoramiento de la calidad del agua con la que se alimenta los calderos del Parque Acuático Los Elenes del Cantón Guano.

A continuación se muestran los resultados obtenidos después del ablandamiento a través del intercambio iónico:

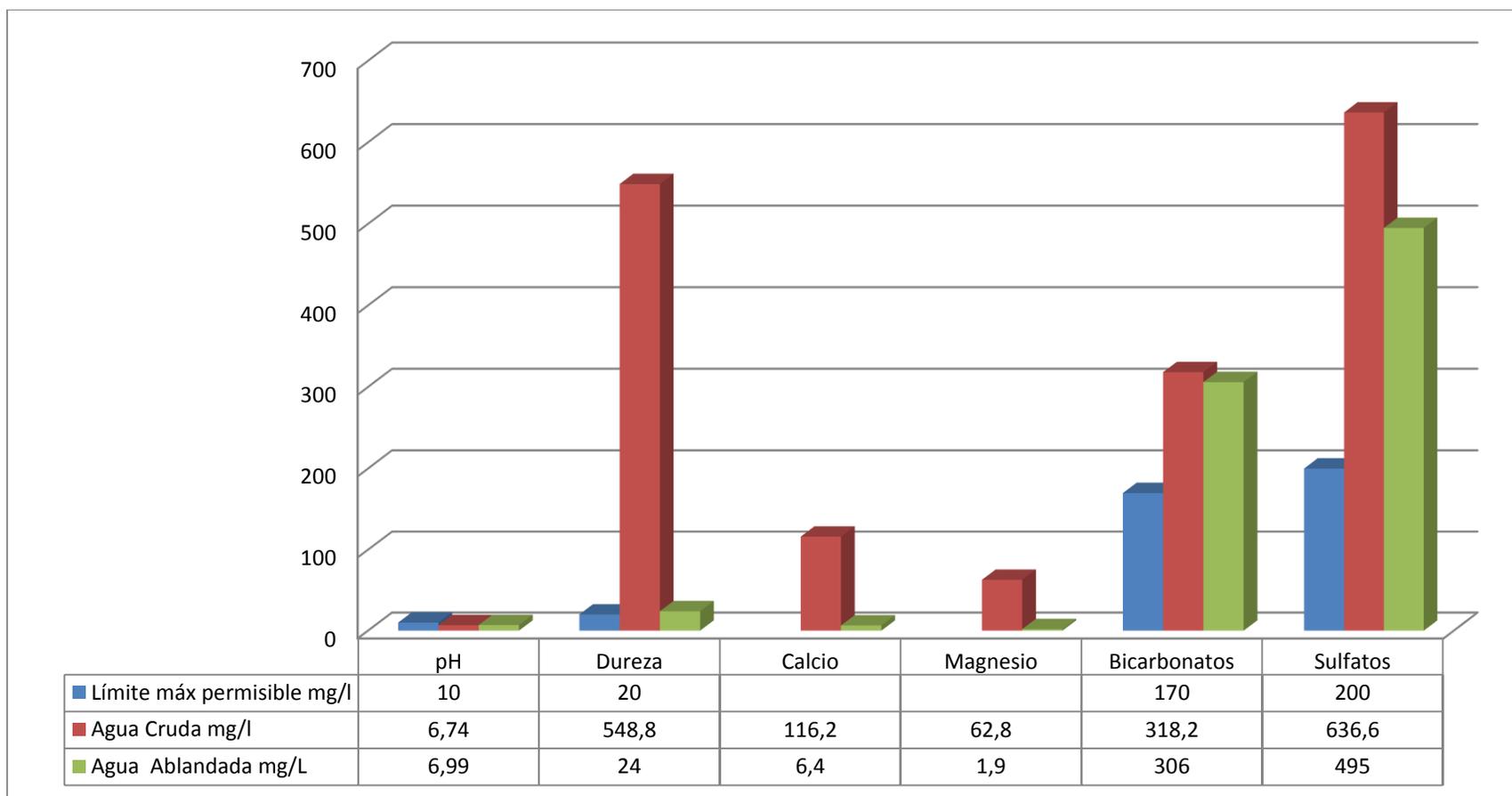
Tabla 19. RESULTADOS DESPUÉS DEL INTERCAMBIO IÓNICO

Determinación	Unidades	*Límite	Agua cruda	Agua ablandada
pH	Unid	7-10	6,74	6,99
Conductividad	μSiems/cm	Max: 3500	1395	1670
Turbiedad	UNT	5	0,1	0,1
Cloruros	mg/l		31,2	26,9
Dureza	mg/l	Max:20	548,8	24,0
Calcio	mg/l	-	116,2	6,4
Magnesio	mg/l	-	62,8	1,9
Alcalinidad	mg/l	350	312	300
Bicarbonatos	mg/l	170	318,2	306
Sulfatos	mg/l	200*	636,6	495
Hierro	mg/l	1	0,036	0,030
Sólidos Disueltos	mg/l	Max: 3500	556	669.0

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Gráfico 05. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA Y AGUA ABLANDADA



Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la gráfica se observa que los parámetros del agua que se encontraban fuera del límite permisible para calderas indicado en las normas, han bajado considerablemente especialmente en el caso de la dureza, el calcio y el magnesio, el valor del pH ha mejorado, y en relación a los sulfatos, bicarbonatos sus valores también han disminuido.

La eficiencia del tratamiento con la resina catiónica es del 95,6 %, es decir que se ha removido la mayor cantidad de dureza que contiene el agua cruda con la que están alimentando a la caldera.

El valor de la dureza, así como de los demás parámetros que se encontraban fuera de las especificaciones mejora pero no alcanzan a posicionarse dentro de la norma.

2.5.2 ADICIÓN DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL

Después de haber realizado el ablandamiento del agua con la resina catiónica se añadió el producto TQ-SOFT-ADL que se utiliza para el tratamiento completo en la prevención de incrustaciones y corrosión en calderos de vapor alimentados con aguas duras y trabajando bajo presión de hasta 300 psi.

Figura 02. ENSAYOS CON EL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL



Elaborado por: Pérez, Jessica, C.

En su composición intervienen precipitantes de dureza, atrapadores de oxígeno, acondicionadores de lodos, inhibidores de corrosión y alcalinizantes reguladores de pH. Se trata, por tanto, de compuestos integrales que contienen todos los componentes requeridos para un tratamiento completo del agua del caldero.

El TQ-SOFT-ADL no contiene ningún tipo de sustancias volátiles que pueden contaminar el vapor, en cambio contribuyen al desprendimiento de incrustaciones antiguas.

Utilizando este producto se realizaron las siguientes pruebas con el fin de determinar el valor mínimo de TQ-SOFT-ADL que se empleará para obtener el valor de la dureza bajo los límites permisibles establecidos por las normas para calderos.

En primer lugar se estableció la preparación de dos diluciones primarias del producto TQ-SOFT-ADL al 5% y al 1%.

2.5.2.1 Cálculo de diluciones primarias del producto TQ-SOFT-ADL al 5% y al 1%.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{cantidad de soluto}}{\text{cantidad de disolvente}}$$

$$\text{Concentración} = \frac{5 \text{ ml ADL}}{100 \text{ ml Agua}}$$

$$\text{Concentración} = 0,05 \text{ ml ADL/ml Agua}$$

$$\text{Concentración} = \frac{1 \text{ ml ADL}}{100 \text{ ml Agua}}$$

$$\text{Concentración} = 0,01 \text{ ml ADL/ml Agua}$$

→ Tomamos inicialmente la dilución del producto TQ-SOFT-ADL al 5%, de esta dilución tomamos alícuotas como se indica en la tabla a continuación y las

añadimos a 100 ml del aguas cruda y a 100 ml de agua ablandada posteriormente se midió la dureza:

Tabla 20. DILUCIÓN PRIMARIA DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL AL 5%

Dilución TQ-SOFT-ADL al 5%	Agua cruda (100 ml)	Agua Ablandada (100 ml)
Alícuotas (ml)	Dureza(mg/L)	Dureza(mg/L)
2	544	0
4	528	0
6	528	0
8	520	0
10	496	0
12	472	0
14	456	0

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 21. DILUCIÓN PRIMARIA DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL al 1%

Dilución TQ-SOFT-ADL al 1%	Agua cruda (100 ml)	Agua Ablandada (100 ml)
Alícuotas (ml)	Dureza(mg/L)	Dureza(mg/L)
2	548	16
4	547,2	12
6	544	0
8	528	0
10	520	0
12	496	0
14	472	0

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Pues bien como se observa en los dos casos de las diluciones primarias al añadir el producto al agua cruda no produce un efecto favorable en el que lleve los valores de la dureza dentro del límite establecidos por las normas ya que requiere una mayor cantidad del producto químico.

Mientras que al adicionar el producto ADL en el agua después de ablandarla, los valores son de cero dureza en el caso de la dilución primaria del 5% y con respecto a la dilución al 1 % se nota que la dureza es cero al añadir 6 ml es decir que entre 4 ml y 6 ml la dureza inicia a ser cero mg/L, para ello se adicionó 5 ml de ADL en 100 ml de agua ablandada medimos la dureza dándonos un resultado de cero mg/L de dureza.

Tabla 22. DILUCIÓN ÓPTIMA DEL PRODUCTO TQ-SOFT-ADL AL 1%

Dilución TQ-SOFT-ADL al 1%	Agua cruda	Agua Ablandada
Alícuotas (ml)	Dureza(mg/L)	Dureza(mg/L)
4	547,2	12
5	545	0
6	544	0

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Basándonos en estos datos, la utilización de las diluciones al 5% y al 1% del ADL después del ablandamiento, son muy eficientes, considerando los costos se elegirá la dilución al 1% a partir de esta encontraremos la dilución óptima para el tratamiento.

2.5.2.1.1 *Cálculo de la dilución optima del TQ-SOFT-ADL.*

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,01 \times 5}{100}$$

$$C_2 = 0,005 \frac{ml \text{ ADL}}{ml \text{ Agua}}$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron los respectivos análisis con el fin de determinar el valor mínimo de TQ-SOFT-ADL que se empleara, para que el valor de la dureza baje y se encuentre dentro de los límites permisibles establecidos por la ASME y de igual manera tener el menor gasto económico, siendo así que la concentración óptima encontrada para este caso es de 0,005 ml ADL/ml Agua.

Se realizaron 5 determinaciones con cada una de las diluciones para así obtener valores confiables para que pueda ser aplicado en el tratamiento de agua el mismo que nos permitirá generar agua de alta calidad para la alimentación de calderas asegurando el proceso, con una eficiencia del 100%, la adición del ADL no solo elimina la dureza si no que produce un efecto favorable sobre los otros parámetros especialmente en el pH que lo regula y lo deja dentro del parámetro que la norma establece.

A continuación presentamos los análisis realizados al agua ablandada a través del intercambio iónico y después de añadir el producto TQ-SOFT-ADL:

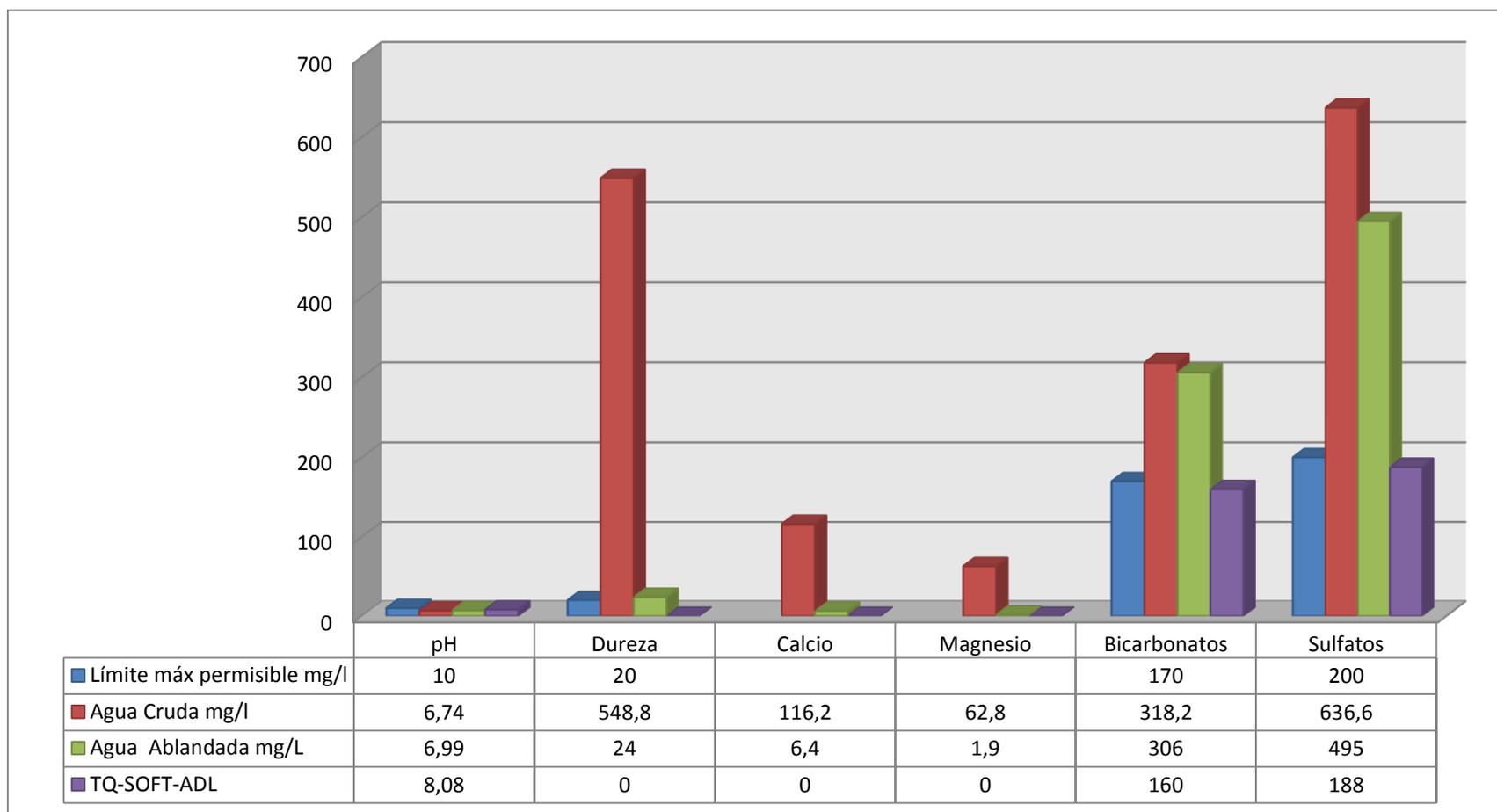
Tabla 23. RESULTADOS DESPUÉS DEL INTERCAMBIO IÓNICO MÁS TQ-SOFT-ADL

Determinación	Unidades	*Límite	Agua cruda	Agua ablandada	Agua ablandada + TQ-SOFT-ADL
pH	Unid	7-10	6,74	6,99	8,08
Conductividad	μSiems/cm	Max: 3500	1395	1670	1677
Turbiedad	UNT	5	0,1	0,1	0,7
Cloruros	mg/l		31,2	26,9	35,5
Dureza	mg/l	Max:20	548,8	24,0	< 4,0
Calcio	mg/l	-	116,2	6,4	< 0,1
Magnesio	mg/l	-	62,8	1,9	< 0,1
Alcalinidad	mg/l	350	312	300,0	133,0
Bicarbonatos	mg/l	170	318,2	306,0	160,0
Sulfatos	mg/l	200*	636,6	495,0	188,0
Hierro	mg/l	1	0,036	0,030	0,06
Sólidos Disueltos	mg/l	Max: 3500	556,0	669,0	672,0

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Grafico 06. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA ABLANDADA MÁS TQ-SOFT-ADL



Fuente: PÉREZ, Jessica, C.

CAPÍTULO III

DISEÑO

Con respecto al “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LOS CALDEROS EN EL PARQUE ACUÁTICO LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO”, se realizarán los cálculos a partir del tanque de almacenamiento de agua cruda y el tratamiento de ablandamiento, ya que no será necesario realizar cálculo del sistema de captación ni de aducción.

El fundamento del siguiente diseño se alinea a dos aspectos específicos, construir una unidad con una operación eficiente, y obtener una excelente calidad de agua misma que será utilizada para la alimentación de los calderos, tomando en cuenta el factor económico, el de seguridad y la eficiencia del proceso.

Los datos fueron obtenidos a partir de la investigación realizada en campo, además de la colaboración del encargado de la sala de máquinas del Parque Acuático Los Elenes, y del municipio del cantón quien nos dio la facilidad de ingresar al parque y acceder inspeccionar las instalaciones.

Al realizar una revisión del estado actual de la caldera identificamos que una de las unidades ya no se encontraba funcionando debido a que fue retirada, por verse afectada

gravemente por la calidad de agua que utilizan. Es por ello que se precisa este análisis y su propuesta de diseño

3 CÁLCULOS

3.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA.

Nos permite conocer la cantidad de dureza removida tanto con el ablandamiento, como el proceso combinado ablandamiento más la adición del producto químico TQ-SOFT-ADL

3.1.1 Porcentaje de Remoción con el Tratamiento de Ablandamiento con la Resina Catiónica PUROLITE C – 100 E

$$Dureza\ del\ Agua\ al\ inicio = 548,8 \frac{mg}{L}$$

$$Dureza\ del\ Agua\ después\ del\ ablandamiento = 24 \frac{mg}{L}$$

$$\%Remoción = \frac{548,8 - 24}{548,8} \times 100 = 95,6 \%$$

$$\%Remoción = 95,6 \%$$

3.1.2 Porcentaje de Remoción con el Tratamiento de Agua Ablandada más el Producto TQ-SOFT-ADL.

$$\text{Dureza del Agua después del Ablandamiento} = 24 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Dureza después de añadir TQSOFT - ADL} = 0 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\% \text{Remoción} = \frac{24 - 0}{24} \times 100 = 100\%$$

$$\% \text{Remoción} = 100\%$$

3.2 Determinación del Caudal de Alimentación para el Intercambiador Catiónico

TABLA 01. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL CALDERO

Característica	Valor
Presión de trabajo psi	30 psi
Combustible	Diesel
Área de transferencia ft ²	130
Capacidad promedio BHP	22
Capacidad BTU/h. input	924 000
BTU/h a 2 800 ms/n/m	785 000
BTU/h output	650 000
Quemador Americano J30A - 10	1 075 000 BTU/h

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Por cada caballo vapor caldera, la caldera requiere alimentarse con 4.25 galones por hora.
Reemplazando los valores indicados en la Ec.01:

Capacidad promedio del caldero BHP = 22

$$Q_c = BHP \times 4,25$$

$$Q_c = 22 \times 4,25$$

$$Q_c = 93,5 \text{ gal}/h$$

3.2.1 Caudal de Alimentación Total requerida por día

Multiplicamos el caudal de alimentación para el caldero por las horas de operación que trabaja la caldera al día que son 12 horas, reemplazamos los valores indicados en la Ec.02 para determinar el caudal de alimentación de la caldera para un día de operación:

$$Q = Q_c \times \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

$$Q = 93.5 \frac{\text{gal}}{h} \times \frac{12 h}{1 \text{ día}}$$

$$Q = 1122 \text{ gal}/\text{día}$$

✓ *Transformación de la Dureza en granos/galón*

Para transformar la dureza en granos/galón se utiliza el factor de conversión: $17,1 \text{ ppm} = 1 \text{ granos/galón}$

$$Dureza = 548,8 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ granos/gal}}{17,1 \text{ ppm}}$$

$$Dureza = 32,1 \text{ granos/gal}$$

3.2.2 Determinación de los granos totales de Dureza a remover por día

Para determinar los granos totales de dureza a remover por día aplicamos la Ec.03:

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = Q * Dureza$$

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = 1122 \frac{\text{gal}}{\text{día}} * 32,1 \frac{\text{granos}}{\text{gal}}$$

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = 36016,2$$

La información lograda en los pasos anteriores nos ofrece la cantidad de dureza a remover al día. A partir de esta información básica podemos seleccionar el suavizador.

Debido a la natural importancia de obtener agua suavizada como alimentación a la caldera, debemos de considerar un margen de error en la selección del suavizador. Este margen es común el 15%.

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} \times 1,15 = 36016,2 \times 1,15$$

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = 41\,418,63$$

Por lo tanto los granos totales de dureza a remover al día, es de 41 418, 63 granos/día.

3.2.3 Volumen de resina

Usando el factor de conversión: $1 \text{ ft}^3 = 30000$ granos de resina, el volumen de resina se calcula por la Ec.04:

$$V_r = \frac{\text{granos} / \text{día}}{30000}$$

$$V_r = \frac{41\,418,63}{30000}$$

$$V_r = 1,38 \text{ ft}^3$$

$$V_r = 0,04 \text{ m}^3$$

3.2.4 Diseño del Tanque Intercambiador de Cationes

Principios para el diseño

→ La cantidad de dureza que presenta el agua cruda es de 548,8 mg/L

→ La resina que se va a utilizar es: POROLITE C-100 Resina de Intercambio Catiónico, para uso en aplicaciones de ablandamiento de agua.

3.2.4.1 Volumen del tanque intercambiador

Para determinar el volumen del tanque intercambiador de cationes se utiliza el volumen de la resina en metros cúbicos multiplicado por el factor de expansión de la resina al retro lavarla que es del 75 % cuando es resina catiónica (1,75), para ello aplicamos la Ec.05:

$$V_r = 0,04 \text{ m}^3$$

$$E = 75\% = 1,75$$

$$V_{Ti} = V_r \times E$$

$$V_{Ti} = 0,04 \text{ m}^3 \times 1,75$$

$$V_{Ti} = 0,07 \text{ m}^3$$

3.2.4.2 Área del tanque intercambiador

De acuerdo a la tesis del Ing. Jorge Moreno, Diseño de un tanque suavizador, en el capítulo 14.4., la altura más aconsejable para la resina h_r es de 3 pies. El área del intercambiador se calculará a partir de la Ec.06:

$$V_r = 1,38 \text{ ft}^3$$

$$h_r = 3 \text{ ft}$$

$$A_{Ti} = A_r = \frac{V_r}{h_r}$$

$$A_{Ti} = \frac{1,38 \text{ ft}^3}{3 \text{ ft}}$$

$$A_{Ti} = 0,46 \text{ ft}^2$$

$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

3.2.4.3 Diámetro del tanque intercambiador

EL diámetro del tanque intercambiador se calculará a partir de la Ec.07:

$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 A_{Ti}}{\pi}}$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 (0,043)}{\pi}}$$

$$D_i = 0,23 \text{ m}$$

3.2.4.4 Altura del Tanque Intercambiador

La altura del intercambiador de acuerdo a la Ec.08, se calcula:

$$V_{Ti} = 0,07 \text{ m}^3$$

$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

$$h_{Ti} = \frac{V_{Ti}}{A_{Ti}}$$

$$h_{Ti} = \frac{0,07\text{m}^3}{0,043\text{m}^2}$$

$$h_{Ti} = 1,63 \text{ m}$$

3.2.4.5 Altura de Difusores

✓ *Altura de Difusores Intermedios*

Para determinar la altura de los difusores intermedios se utiliza la Ec.09, donde se recomienda para resinas catiónicas el hinchamiento igual a 1,05.

$$V_{Ti} = 0,07 \text{ m}^3$$

$$I = 1,05$$

$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

$$h_{di} = \frac{V_r \times I}{A_{Ti}}$$

$$h_{di} = \frac{0,07 \times 1,05}{0,043}$$

$$h_{di} = 0,98 \text{ m}$$

3.2.4.6 Caída de Presión del Tanque Intercambiador

Utilizando el diagrama de la figura de la caída de presión vs la velocidad de flujo que nos proporciona la hoja técnica de la resina determinamos la caída de presión. Pero antes de ello determinaremos la velocidad de flujo con la ecuación 10:

$$Q = 1122 \frac{\text{gal}}{\text{día}} = 4246,7 \frac{\text{L}}{\text{día}} = 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

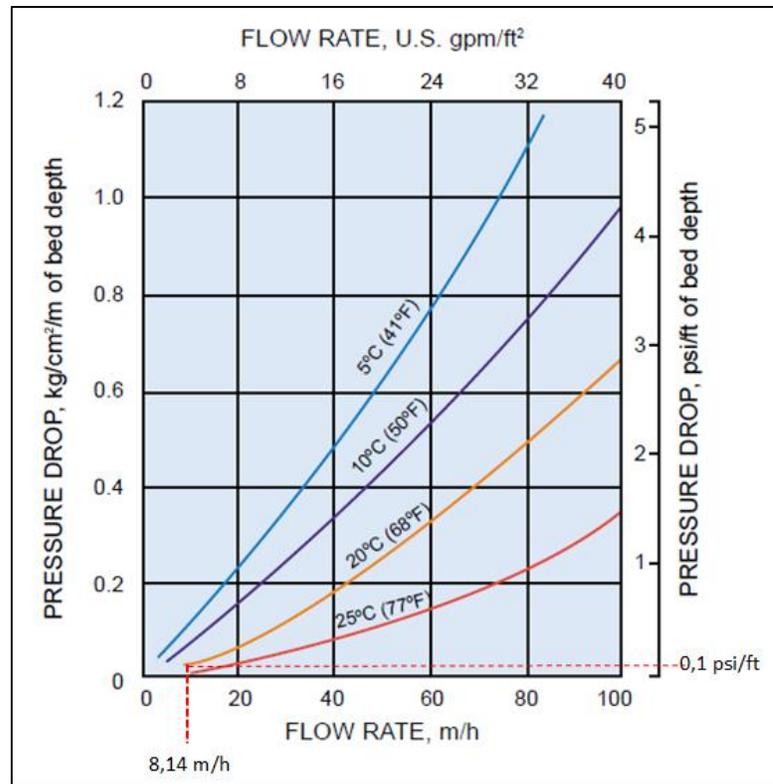
$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

$$v_{H2O \text{ CRUDA}} = \frac{Q}{A_{Ti}}$$

$$v_{H2O \text{ CRUDA}} = \frac{0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,043 \text{ m}^2}$$

$$v_{H2O \text{ CRUDA}} = 8,14 \text{ m/h}$$

La temperatura del fluido en este caso del agua es de 20°C y con la velocidad de flujo interpolamos en el diagrama como se muestra a continuación:



El dato que nos proporciona el diagrama está en función de la altura del lecho de la resina, por lo tanto la caída de presión dentro del tanque intercambiador será:

$$\Delta P = 0,1 \frac{psi}{ft} = 2,26 \frac{KPa}{m}$$

3.2.4.7 Diseño Mecánico

3.2.4.7.1 Espesor de las Tapas Torio-esféricas

En cuanto al diseño mecánico se determinará el espesor de las tapas torio-esféricas para ello empleamos la Ec.11, el material de las tapas será de Acero al Carbón, dato que nos

permitirá conocer la resistencia del material y se recomienda una presión máxima de 9kg/cm^2 , un factor de soldadura de 1,0 totalmente radiografiado.

$$P = 9 \text{ kg/cm}^2$$

$$L=D_i= 0,23 \text{ m}$$

$$S= 966,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 1,0$$

Factor por formado de tapas: $0,0625 \text{ plg} = 0,016 \text{ m}$

$$Et = \frac{0,885 \times P \times L}{S \times E_s - 0,1 \times P} + 0,0625$$

$$Et = \frac{0,885 \times 9 \times 0,23}{966,9 (1,0) - 0,1(9)} + 0,016$$

$$Et = 0,018 \text{ m}$$

$$Et = 0,71 \text{ plg}$$

Nota: El espesor de las tapas torio-esféricas se lleva a espesor comercial.

✓ *Cálculo del radio*

El cálculo del radio del tanque de obtiene a partir de la Ec.12:

$$L=D_i= 0,23 \text{ m}$$

$$r = \frac{L}{16}$$

$$r = \frac{0,23}{16}$$

$$r = 0,014 \text{ m}$$

3.2.4.7.2 Espesor del Falso Fondo

El espesor del falso fondo se calcula a través de la Ec.13:

$$a=r=0,6 \text{ plg}$$

$$r = 0,014 \text{ m} = 0,6 \text{ plg} = 0,046 \text{ ft}$$

$$tf = 10^{-2} \times a \times (0,514P)^{1/2}$$

$$tf = 10^{-2} \times 0,6 \times (0,514(0,046))^{1/2}$$

$$tf = 9,23 \times 10^{-4} \text{ plg}$$

El valor del falso fondo calculado se llevará al espesor comercial para sistemas ½ plg en donde:

$$tf = 0,068 \text{ plg}$$

$$tf = 1,73 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,73 \text{ mm}$$

Para la determinar la Presión se utilizará la Ec.14 en donde se utiliza la relación de 1 psi por pie, multiplicado para el valor del radio del tanque en pies:

$$P = 1 \frac{\text{psi}}{\text{pie}} \times r$$

$$P = 1 \frac{\text{psi}}{\text{pie}} \times 0,046 \text{ pies}$$

$$P = 0,046 \text{ psi}$$

3.2.4.7.3 Deflexión del Falso Fondo

La deflexión del falso fondo se calcula para conocer el grado de deformación del material o estructura a la cual se aplica una fuerza o carga y se determina utilizando la Ec.15:

$$D_i = 0,23 \text{ m} = 0,8 \text{ pies}$$

$$p' = 1 \frac{\text{psi}}{\text{pie}} \times D_i \text{ (pies)}$$

$$p' = 1 \frac{\text{psi}}{\text{pie}} \times 0,8 \text{ pies}$$

$$p' = 0,8 \text{ psi}$$

$$r = 0,6 \text{ plg}$$

$$mE: 30 \times 10^6 \text{ lb/plg}^2$$

$$tf = 0,068 \text{ plg}$$

$$\Delta = \frac{p'(r)^4}{32(mE)tf^3}$$

$$\Delta = \frac{0,8 (0,6)^4}{32(30 \times 10^6)(0,068)^3}$$

$$\Delta = 2,4 \times 10^{-9} \text{ plg}$$

Se obtiene un valor de la deflexión del falso fondo igual a $2,4 \times 10^{-9}$ plg, siendo un valor menor a 1/4" este valor se lo encuentra en la tabla de espesores del acero.

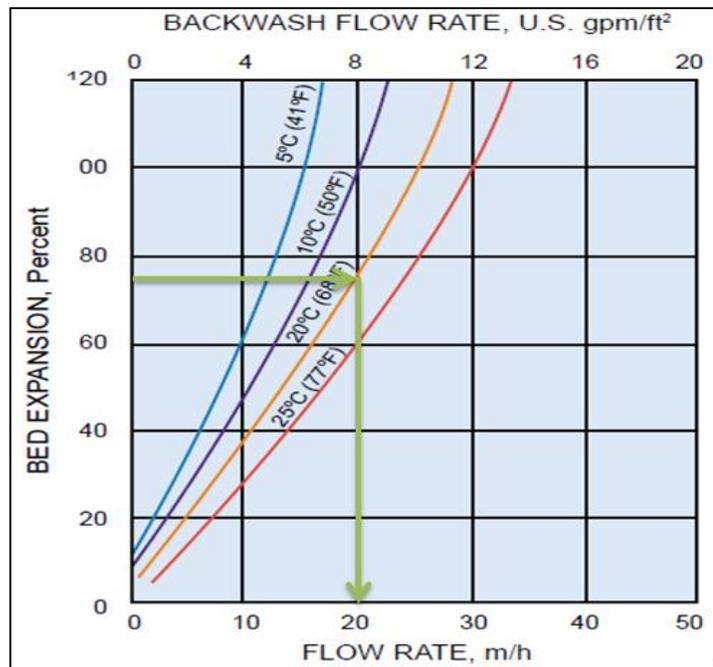
3.2.5 DISEÑO DEL PROCESO DE REGENERACIÓN

3.2.5.1 Retrolavado

- ✓ Compactación del Lecho

De acuerdo a las recomendaciones del fabricante, recomienda una velocidad de compactación de la resina dentro del lecho 3 veces la velocidad de retrolavado convencional, el cual corresponde entre el 50 – 75 % de la expansión de la resina al retrolavarla.

Utilizando la figura 26 de Lavado de Expansión determinaremos la velocidad de flujo para retrolavarla, ubicamos en la figura el factor de expansión del 75% y trazamos una horizontal hasta que corte con la línea de temperatura a 20 °C, posteriormente bajamos hasta que corte con la línea de la velocidad de flujo para el retrolavado siendo el valor obtenido de 20 m/h.



$$v_{retrolavado} = 20 \text{ m/h}$$

✓ Velocidad de Compactación

Aplicando la Ec.16 determinamos la velocidad de compactación:

$$v_{comp} = 3 v_{retrolavado}$$

$$v_{comp} = 3 (20 \text{ m/h})$$

$$v_{comp} = 60 \text{ m/h}$$

✓ Caudal de Compactación

Para conocer el caudal de compactación se utiliza la Ec.17:

$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

$$v_{comp} = 60 \text{ m/h}$$

$$Q_{comp} = v_{comp} \times A_{Ti}$$

$$Q_{comp} = 60 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times 0,043 \text{ m}^2$$

$$Q_{comp} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

✓ Volumen de compactación

El volumen de compactación lo determinamos con la Ec.18:

$$Q_{comp} = 2,58 \text{ m}^3/h$$

$$t_{comp} = 3 \text{ min} = 0,05h$$

$$V_{comp} = Q_{comp} \times t_{comp}$$

$$V_{comp} = 2,58 \frac{\text{m}^3}{h} \times 0,05 h$$

$$V_{comp} = 0,13 \text{ m}^3$$

3.2.5.2 Ciclo de Regeneración

En los ciclos de regeneración debe existir un contacto íntimo entre la solución regenerante y la resina.

La resina catiónica PUROLITE C-100 empleada para este tratamiento de ablandamiento, presenta una capacidad de operación es de 30,4 kgranos/ft³de resina. Con este dato podemos determinar la capacidad de operación al día para nuestro proceso, dividiendo el número de granos de dureza removidos al día para el volumen de la resina.

$$\frac{41\,418,66 \text{ granos}/\text{día}}{1,38 \text{ ft}^3(1000)} = 30,01 \frac{\text{Kgranos}}{\text{ft}^3 \text{ día}}$$

Obtenida la capacidad de operación de la resina para nuestro proceso, determinamos las veces al día que se debe regenerar la resina, multiplicando la capacidad total por la eficiencia de la resina del 90% dividida para los Kgranos por pie cúbico de resina en un día de trabajo:

$$\frac{30,4 \frac{Kgranos}{ft^3} \times 0,90}{30,01 \frac{Kgranos}{ft^3 día}} = 0,91 día$$

Estableciendo así que la fase de regeneración se realizará una vez al día, y el nivel de dureza se mantenga bajo control.

✓ Velocidad y Tiempo de Regeneración

Datos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante:

$Q_{reg} = 5,07 - 50,74 \text{ m}^3/h$ seleccionando un caudal de regeneración de $20 \text{ m}^3/h$ valor recomendado basado en las características del proceso, calcularemos la velocidad y el tiempo de regeneración, a partir de las Ec.19:

$$Q_{reg} = 20 \text{ m}^3/h$$

$$A_{Ti} = 0,043 \text{ m}^2$$

$$v_{reg} = \frac{Q_{reg}}{A_{Ti}}$$

$$v_{reg} = \frac{20 \text{ m}^3/h}{0,043 \text{ m}^2}$$

$$v_{reg} = 465,1 \text{ m/h}$$

$$v_{reg} = 7,8 \text{ m/min}$$

En donde la velocidad de regeneración es de $7,8 \text{ m/min}$, en un periodo de tiempo de 30 min recomendado por el fabricante.

$$t_{reg} = 30 \text{ min}$$

3.2.5.3 Enjuague del lecho de la Resina.

✓ Enjuague Lento

El enjuague lento de la columna se encuentra en función del volumen de la resina existente, para ello el fabricante hace referencia a la cantidad de agua necesaria para esta fase del proceso encontrándose entre 15 a 30 gal/ft³. Se determina utilizando la Ec.20:

Para determinar el volumen de enjuague lento consideramos 15 gal H₂O/ft³ de resina que equivalen en el sistema internacional a 2 m³/ m³ de resina.

$$q_1 = 2 \frac{m^3}{m^3} \text{ de resina}$$

$$V_r = 0,04m^3$$

$$V_{1-H_2O} = q_1 \times V_r$$

$$V_{1-H_2O} = 2 \frac{m^3}{m^3} \times 0,04m^3$$

$$V_{1-H_2O} = 0,08m^3$$

Tanto la velocidad y el caudal de enjuague, serán iguales a la velocidad y caudal de la fase de regeneración, en tanto se determinará el tiempo se considera de acuerdo a la hoja técnica de la resina:

$$Q_{enj-l} = Q_{reg} = 20 \frac{m^3}{h}$$

$$v_{enj-l} = v_{reg} = 7,8 \text{ m/min}$$

$$t_{enj \text{ lento}} = 30 \text{ min}$$

✓ Enjuague Rápido

Para el enjuague rápido requiere de 24 a 345 gal H₂O/ft³ de resina utilizamos la Ec.21 para determinar el volumen que se requiere en esta fase:

$$V_r = 0,04m^3$$

$$q_2 = 24 \frac{gal}{ft^3} = 3,2 \frac{m^3 H_2O}{m^3 \text{ de resina}}$$

$$V_{2-H_2O} = q_2 \times V_r$$

$$V_{2-H_2O} = 3,2 \frac{m^3 H_2O}{m^3 \text{ de resina}} \times 0,04m^3$$

$$V_{2-H_2O} = 0,13 m^3 H_2O$$

De acuerdo a las especificaciones del fabricante de resina se considera un tiempo de 30 min aproximadamente del enjuague rápido, por tanto determinaremos el caudal de enjuague rápido con la Ec.22:

$$Q_{enj \text{ rápido}} = \frac{V_{2-H_2O}}{t_{enj \text{ rápido}}}$$

$$Q_{enj \text{ rápido}} = \frac{0,13 m^3}{30 \text{ min}}$$

$$Q_{enj \text{ rápido}} = 0,0043 \frac{m^3}{\text{min}}$$

Y la velocidad viene dada por la Ec.23:

$$A_{Ti} = 0,043 m^2$$

$$v_{enj\ rápido} = \frac{Q_{enj\ rápido}}{A_{Ti}}$$

$$v_{enj\ rápido} = \frac{0,0043 \frac{m^3}{min}}{0,043 m^2}$$

$$v_{enj\ rápido} = 0,1 \frac{m}{min}$$

3.2.6 DISEÑO DE TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA, AGUA ABLANDADA, REGENERANTE, PRODUCTO QUÍMICO.

3.2.6.1 Diseño del Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda

El diseño de este tanque nos permitirá almacenar el agua cruda que posteriormente será tratada en el intercambiador catiónico.

Tabla 02. CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO

Fluido	Agua
Temperatura(°C)	20
Densidad(kg/m³)	998, 2
Caudal (m³/s)	0,00294

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Todos estos datos son obtenidos de tablas y el caudal fue determinado experimentalmente.

✓ *Medición del Caudal*

El abastecimiento de agua para la caldera se la realiza transportando agua desde la vertiente de lagos ubicada a 65,737 metros de la sala de máquinas. El caudal se determinó experimentalmente con mediciones de volúmenes en función del tiempo en la fuente de origen del agua. Se realizaron 8 mediciones:

Tabla 03. MEDICIÓN DEL CAUDAL

Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (m ³ /s)
20	6,8	0,00294
20	7,1	0,00282
20	6,5	0,0030
20	6,7	0,00298
20	6,8	0,00294
20	6,7	0,00298
20	6,8	0,00294
20	6,9	0,00289
Promedio =		0,00294

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Por lo tanto el caudal de alimentación se calculó a partir de la Ec.29:

$$Q_a = 0,00294 \text{ m}^3/\text{s}$$

La cantidad de agua que va almacenar el tanque es de:

$$V_{H_2O \text{ cruda}} = 0,00294 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1\text{h}} \times \frac{12\text{h}}{1\text{día}}$$

$$V_{H_2O \text{ cruda}} = 127 \text{ m}^3 \text{ de agua cruda al día}$$

Para determinar las variables para el diseño del tanque aplicamos la condición de superficie mínima y determinamos con la ecuación 24 para el radio, la ecuación 25 para el diámetro, la ecuación 26 para la longitud envolvente o altura, la ecuación 27 para determinar el área, y la ecuación 28 para determinar el volumen que tendrá el tanque:

✓ **Radio del Tanque**

$$R_{Ta} = \sqrt[3]{\frac{V_{H2O\ cruda}}{2\pi}}$$

$$R_{Ta} = \sqrt[3]{\frac{127\ m^3}{2\pi}}$$

$$R_{Ta} = 2,72\ m$$

✓ **Diámetro**

$$D_{Ta} = 2R_{Ta}$$

$$D_{Ta} = 2 \times (2,72)$$

$$D_{Ta} = 5,44\ m$$

✓ **Longitud envolvente (altura)**

$$L_{Ta} = \frac{V_{H2O\ cruda}}{2 \times R_{Ta}^2}$$

$$L_{Ta} = \frac{127 \text{ m}^3}{2 \times (2,72 \text{ m})^2}$$

$$L_{Ta} = 8,6 \text{ m}$$

✓ *Área del tanque*

$$A_{Ta} = \pi R_{Ta}^2$$

$$A_{Ta} = \pi \times (2,72 \text{ m})^2$$

$$A_{Ta} = 23,2 \text{ m}^2$$

✓ *Volumen Final del Tanque de Almacenamiento*

$$V_{Ta} = \pi \cdot R_{Ta}^2 \cdot L_{Ta}$$

$$V_{Ta} = \pi \times (2,72 \text{ m})^2 \times 8,6 \text{ m}$$

$$V_{Ta} = 199,8 \text{ m}^3$$

3.2.6.2 Tanque para el Agua Ablandada

Este tanque contendrá el agua después del proceso de ablandamiento, misma agua que será transportada posteriormente a la caldera conjuntamente con la adición del ADL.

El caudal de agua ablandada es igual a 4246,7 litros por día que equivalen a 4,2 metros cúbicos por día de operación de la caldera, se considera un tiempo de retención de 2 días lo que nos permitirá abastecer a la caldera si ocurre algún problema, con estos datos determinaremos el volumen del tanque:

$$V_{H_2O \text{ ablandada}} = Q_{T-H_2O \text{ ablandada}} \times tr$$

$$V_{H_2O \text{ ablandada}} = 4,2 \frac{m^3}{día} \times 2 \text{ días}$$

$$V_{H_2O \text{ ablandada}} = 8,4 m^3$$

Para determinar las variables para el diseño del tanque aplicamos la condición de superficie mínima y determinamos:

✓ **Radio del Tanque**

$$R_{T-ablandada} = \sqrt[3]{\frac{V_{H_2O \text{ ablandada}}}{2\pi}}$$

$$R_{T-ablandada} = \sqrt[3]{\frac{8,4 m^3}{2\pi}}$$

$$R_{T-ablandada} = 1,10 m$$

✓ **Diámetro**

$$D_{T-ablandada} = 2R_{T-ablandada}$$

$$D_{T-ablandada} = 2 \times (1,10 \text{ m})$$

$$D_{T-ablandada} = 2,2 \text{ m}$$

✓ **Longitud envolvente (altura)**

$$L_{T-ablandada} = \frac{V_{H2O \text{ ablandada}}}{2 \times R_{T-ablandada}^2}$$

$$L_{T-ablandada} = \frac{8,4 \text{ m}^3}{2 \times (1,10 \text{ m})^2}$$

$$L_{T-ablandada} = 3,47 \text{ m}$$

✓ **Área del tanque**

$$A_{T-ablandada} = \pi R_{T-ablandada}^2$$

$$A_{T-ablandada} = \pi \times (1,10 \text{ m})^2$$

$$A_{T-ablandada} = 3,80 \text{ m}^2$$

✓ **Volumen Final del Tanque de Almacenamiento**

$$V_{T-ablandada} = \pi \cdot R_{Ta}^2 \cdot L_{Ta}$$

$$V_{T-ablandada} = \pi \times (1,10\text{m})^2 \times 3,47 \text{ m}$$

$$V_{T-ablandada} = 13,2 m^3$$

3.2.6.3 Tanque para la Solución Regenerante

El diseño del tanque de salmuera está directamente relacionado con la cantidad de resina que se vaya a utilizar para el proceso de ablandamiento del agua, de acuerdo a la experiencia activamos 0,04 Kg de resina con 0,05 Litros de solución de NaCl al 10%.

Se determinó anteriormente el volumen de la resina para este proceso y es 1,38 pies cúbicos de resina en base a este dato y a la densidad de la resina descrita en la hoja técnica calcularemos la masa de la resina para luego calcular el volumen de cloruro de sodio al 10% que se requiere.

$$V_r = 1,38 ft^3$$

$$\delta_{resina} = 50 lb/ft^3$$

$$m_{resina} = \delta_{resina} \times V_r$$

$$m_{resina} = 50 \frac{lb}{ft^3} \times 1,38 ft^3$$

$$m_{resina} = 69 lb \text{ de resina}$$

$$m_{resina} = 31,3 Kg \text{ de resina}$$

Establecemos una relación para obtener la cantidad de solución de cloruro de sodio al 10%:

$$V_{NaCl 10\%} = 31,3 Kg \text{ de resina} \times \frac{0,05 L NaCl}{0,04 Kg \text{ de resina}}$$

$$V_{NaCl\ 10\%} = 39,1\ L$$

De acuerdo a la cantidad de cloruro de sodio utilizada en el laboratorio para preparar la solución fue de 10 g NaCl (sal en grano) en 100 mililitros de agua destilada, con estos datos determinaremos la masa de sal en grano que requerimos, para preparar 39,1 litros de solución de NaCl al 10%:

$$39,1\ L \times \frac{10\ g\ NaCl}{100\ ml} \times \frac{1000\ ml}{1\ L} = 3910\ g\ NaCl = 3,91\ Kg\ NaCl$$

Se requiere 3,91 Kg de cloruro de sodio (NaCl) para preparar la solución que regenerará la resina por día.

El tanque de la solución regenerante debe ser construido de un material resistente a la acción corrosiva del Cloruro de Sodio. El volumen de la solución regenerante por ciclo de operación es 39,1 litros. Cada ciclo corresponde a 12 horas en un día. Para nuestro sistema determinaremos los parámetros para un tanque que abastezca por ciclo de operación.

$$V_{T-NaCl\ 10\%} = 39,1\ L = 0,0391\ m^3$$

Para determinar las dimensiones del tanque utilizaremos la condición de superficie máxima:

✓ **Radio del Tanque**

$$R_{T-NaCl} = \sqrt[3]{\frac{V_{T-NaCl\ 10\%}}{2\pi}}$$

$$R_{T-NaCl} = \sqrt[3]{\frac{0,0391 \text{ m}^3}{2\pi}}$$

$$R_{T-NaCl} = 0,18 \text{ m}$$

✓ *Diámetro del Tanque*

$$D_{T-NaCl} = 2R$$

$$D_{T-NaCl} = 2 \times 0,18$$

$$D_{T-NaCl} = 0,36 \text{ m}$$

✓ *Longitud del Envolvente (altura)*

$$L_{T-NaCl} = \frac{V_{T-NaCl \text{ 10\%}}}{2R^2}$$

$$L_{T-NaCl} = \frac{0,0391 \text{ m}^3}{2(0,18 \text{ m})^2}$$

$$L_{T-NaCl} = 0,60 \text{ m}$$

✓ *Área de Tanque*

$$A_{T-NaCl} = \pi \cdot R^2$$

$$A_{T-NaCl} = \pi \times (0,18 \text{ m})^2$$

$$A_{T-NaCl} = 0,10 \text{ m}^2$$

✓ *Volumen Final del Tanque*

$$V_T = \pi \cdot R^2 \cdot L$$

$$V_T = \pi \times (0,18)^2 \times 0,60$$

$$V_T = 0,061 \text{ m}^3$$

3.2.7 Diseño del Tanque para la Solución de ADL

Experimentalmente se realizaron los ensayos preparando disoluciones con el producto TQ-SOFT-ADL, la disolución más adecuada fue al 1%. Para el diseño del tanque se encontrará la dosificación ideal para la cantidad de agua que requiere la caldera para su funcionamiento al día.

La caldera requiere de 1122 gal/día que equivalen a 4246,7 litros al día de agua ablandada para ponerse en operación, para ello la concentración de la dilución óptima es de 0,005 L ADL1% / 0,1 L H₂O ablandada, con estos datos determinaremos la dosificación ideal:

$$\text{Dosificación ideal} = 4246,7 \frac{\text{L H}_2\text{O ablandada}}{\text{día}} \times \frac{0,005 \text{ L}_{ADL 1\%}}{0,1 \text{ L H}_2\text{O ablandada}}$$

$$\text{Dosificación ideal} = 212,3 \text{ L}_{ADL 1\%} \text{ al día}$$

A partir de esta dosificación, determinamos la cantidad de ADL necesario para preparar la solución al 1%:

$$212,3 L_{solución} \times \frac{0,001 L_{ADL}}{0,1 L_{solución}}$$

$$Cantidad\ de\ ADL = 2,12 L_{ADL}$$

Para preparar una solución de 212,3 litros necesitaremos 2,12 litros del producto TQ-SOFT-ADL.

A partir de la condición de superficie mínima determinaremos las dimensiones para este tanque:

✓ **Radio del Tanque**

$$R_{T-ADL} = \sqrt[3]{\frac{V_{T-ADL\ 1\%}}{2\pi}}$$

$$R_{T-ADL} = \sqrt[3]{\frac{0,212\ m^3}{2\pi}}$$

$$R_{T-ADL} = 0,32\ m$$

✓ **Diámetro del Tanque**

$$D_{T-ADL} = 2R_{T-ADL}$$

$$D_{T-ADL} = 2 \times 0,32$$

$$D_{T-ADL} = 0,64 \text{ m}$$

✓ *Longitud del Envolvente (altura)*

$$L_{T-ADL} = \frac{V_{T-ADL} 1\%}{2R^2}$$

$$L_{T-ADL} = \frac{0,212 \text{ m}^3}{2(0,32 \text{ m})^2}$$

$$L_{T-ADL} = 1,04 \text{ m}$$

✓ *Área de Tanque*

$$A_{T-ADL} = \pi \cdot R^2$$

$$A_{T-ADL} = \pi \times (0,32 \text{ m})^2$$

$$A_{T-ADL} = 0,32 \text{ m}^2$$

✓ *Volumen final del Tanque*

$$V_T = \pi \cdot R^2 \cdot L$$

$$V_T = \pi \times (0,32)^2 \times 1,04$$

$$V_T = 0,33 \text{ m}^3$$

3.3 RESULTADOS

A continuación se presenta el diagrama del sistema de tratamiento que se está proponiendo para el tratamiento externo del agua de alimentación para los calderos del Parque Acuático Los Elenes.

3.3.1 Resultados Caudal de Alimentación para el Caldero

Tabla 04. RESULTADOS CAUDAL DE ALIMENTACIÓN PARA EL CALDERO

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal de alimentación para el caldero	Q _C	93,5	gal/h
		353,9	L/h
Caudal de alimentación total por día	Q	1122	gal/día
		4246,7	L/día

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.2 Resultados del Volumen de Resina Catiónica

Tabla 05. RESULTADOS VOLUMEN DE LA RESINA CATIONICA

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de Resina	V _r	0,04	m ³

Catiónica		1,38	ft ³
		40	L
Masa de la resina	m _{resina}	31,3	Kg

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.3 INTERCAMBIADOR CATIONICO

3.3.3.1 Resultados Tanque Intercambiador de Cationes

Tabla 06. RESULTADOS TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen	V _{Ti}	0,07	m ³
Área	A _{Ti}	0,043	m ²
Diámetro	D _i	0,23	m
Altura del tanque	h _{Ti}	1,63	m
Altura de Difusores intermedios	H _{di}	0,98	m
Diseño Mecánico			
Espesor de tapas torio-esféricas	E _t	0,71	plg
Radio	R	0,014	m
Espesor del falso fondo	T _f	9,23x10 ⁻⁴	plg
Espesor del falso fondo comercial		0,068	plg
		1,73	m
Presión	P	0,046	psi
Deflexión del falso	Δ	2,4x10 ⁻⁹	plg

fondo			
-------	--	--	--

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.3.2 PROCESO DE REGENERACIÓN

3.3.3.2.1 RESULTADOS RETROLAVADO

Tabla 07. RESULTADOS RETROLAVADO

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Velocidad de Retrolavado	$V_{\text{retrolavado}}$	20	m/h
Velocidad de Compactación	V_{comp}	60	m/h
Caudal de compactación	Q_{comp}	2,58	m ³ /h
Volumen de compactación	V_{comp}	0,13	m ³

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.3.2.2 RESULTADOS CICLO DE REGENERACIÓN

Tabla 08. RESULTADOS REGENERACIÓN

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Capacidad de Operación de la resina		1	día
Velocidad de regeneración	v_{reg}	7,8	m/min
Tiempo de regeneración	t_{reg}	30	min

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

✓ *Enjuague Lento del lecho de la Resina.*

Tabla 09. RESULTADOS ENJUAGUE LENTO

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de agua	V_{1-H2O}	0,08	m^3
Caudal de enjuague lento	Q_{enj-l}	20	m^3/h
Velocidad de enjuague lento	V_{enj-l}	7,8	m/min
Tiempo de enjuague lento	t_{enj-l}	30	min

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

✓ *Enjuague Rápido del lecho de la Resina*

Tabla 10. RESULTADOS ENJUAGUE RÁPIDO

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de agua	V_{2-H2O}	0,13	m^3
Caudal de enjuague rápido	Q_{enj-r}	0,0043	m^3/min
Velocidad de enjuague rápido	V_{enj-r}	0,1	m/min
Tiempo de enjuague rápido	t_{enj-r}	30	Min

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.4 TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA, AGUA ABLANDADA, REGENERANTE, PRODUCTO QUÍMICO.

3.3.4.1 Resultados Tanque de Almacenamiento para Agua Cruda

Tabla 11. RESULTADOS TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal	Q _a	0,00294	m ³ /s
		2,94	L/s
Volumen de Agua Cruda al día	V _{H2O cruda}	127	m ³
Radio del Tanque	R _{Ta}	2,72	M
Diámetro del Tanque	D _{Ta}	5,44	M
Longitud envolvente (altura)	L _{Ta}	8,6	M
Área del Tanque	A _{Ta}	23,2	m ²
Volumen Final del Tanque	V _{Ta}	199,8	m ³

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.4.2 Resultados Tanque de Agua Ablandada

Tabla 12. RESULTADOS TANQUE DE AGUA ABLANDADA

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal de agua ablandada	Q _{H2O ablandada}	4,2	m ³ /día
Volumen del agua ablandada	V _{H2O ablandada}	8,4	m ³
Radio del tanque	R _{T-ablandada}	1,10	M
Diámetro del tanque	D _{T-ablandada}	2,2	M
Longitud envolvente (altura)	L _{T-ablandada}	3,47	M
Área del tanque	A _{T-ablandada}	3,80	m ²
Volumen Final del Tanque	V _{T-ablandada}	13,2	m ³
Caída de Presión	ΔP	2,26	KPa/m

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.4.3 Resultados Tanque de Solución Regenerante

→ Preparación de la Solución de Cloruro de Sodio al 10%

Tabla 13. RESULTADOS PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10%

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de NaCl al 10%	$V_{\text{NaCl } 10\%}$	39,1	L
Masa del NaCl	m_{NaCl}	3,91	Kg

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Tabla 14. RESULTADOS TANQUE DE SOLUCIÓN REGENERANTE

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de NaCl al 10%	$V_{\text{T-NaCl } 10\%}$	0,0391	m^3
Radio del tanque	$R_{\text{T-NaCl}}$	0,18	M
Diámetro	$D_{\text{T-NaCl}}$	0,36	M
Longitud del envolvente (Altura)	$L_{\text{T-NaCl}}$	0,60	M
Área del tanque	$A_{\text{T-NaCl}}$	0,10	m^2
Volumen Final Tanque de la solución	$V_{\text{T-NaCl}}$	0,061	m^3

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.3.4.4 Resultados Tanque para Solución de ADL

→ *Preparación de la Solución de ADL al 1%*

Tabla 15. RESULTADOS PREPARACIÓN SOLUCIÓN ADL AL 1%

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Dosificación ideal		212,3	$L_{ADL1\%}/\text{día}$
Cantidad de ADL		2,12	L

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

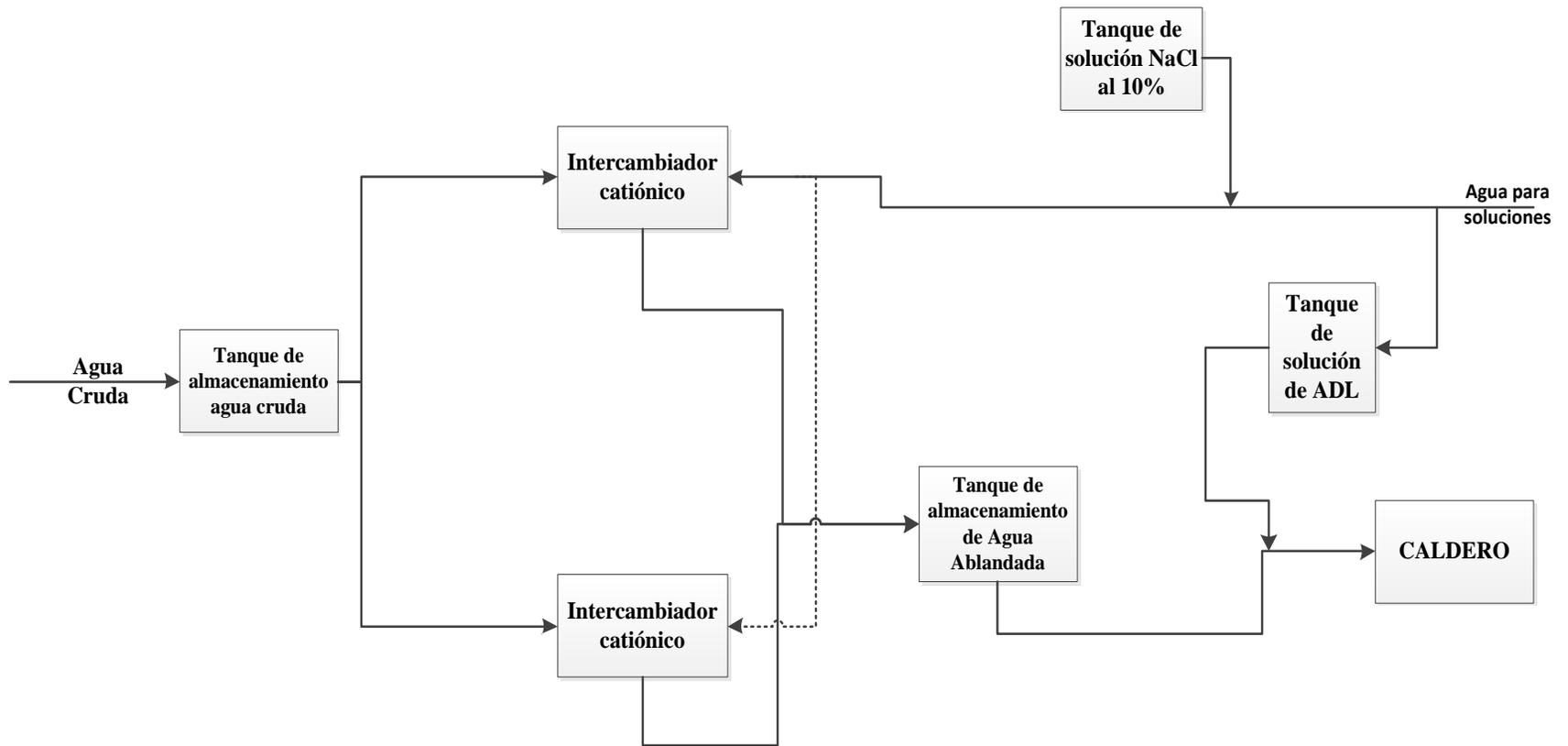
→ *Tanque de la Solución de ADL al 1%*

Tabla 16. RESULTADOS TANQUE DE SOLUCIÓN ADL

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de ADL	$V_{ADL 1\%}$	0,212	m^3
Radio del tanque	R_{T-ADL}	0,32	M
Diámetro del tanque	D_{T-ADL}	0,64	M
Longitud del envolvente (Altura)	L_{T-ADL}	1,04	M
Área del tanque	A_{T-ADL}	0,32	m^2
Volumen Final Tanque	V_T	0,33	m^3

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Figura 01. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.4 SITUACIÓN FINAL-RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA

Tabla 17. RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA AL FINAL

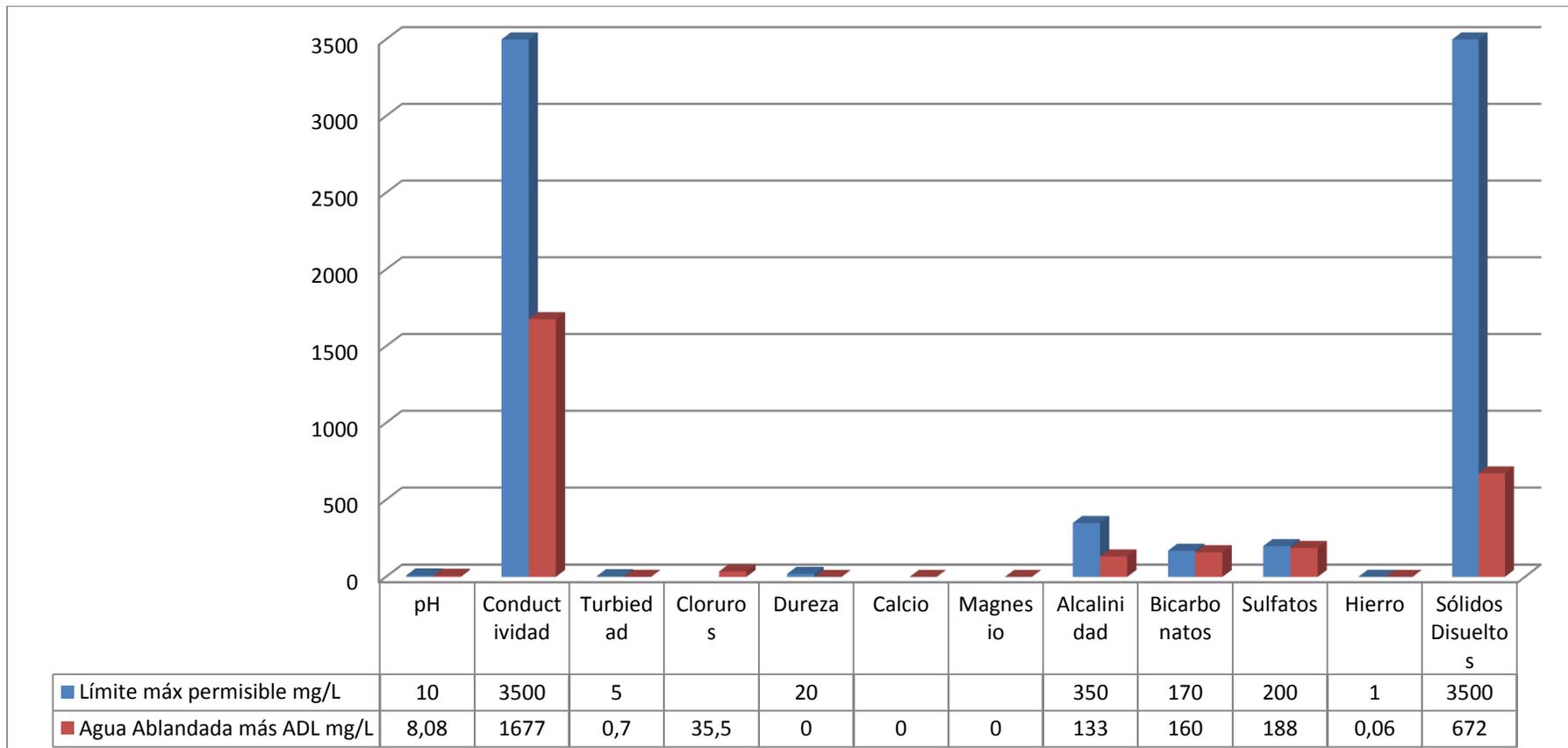
Determinación	Unidades	*Límite	Agua ablandada + TQ-SOFT-ADL
pH	Unid	7-10	8,08
Conductividad	μSiems/cm	Max: 3500	1677
Turbiedad	UNT	5	0,7
Cloruros	mg/l		35,5
Dureza	mg/l	Max:20	< 4,0
Calcio	mg/l	-	< 0,1
Magnesio	mg/l	-	< 0,1
Alcalinidad	mg/l	350	133,0
Bicarbonatos	mg/l	170	160,0
Sulfatos	mg/l	200*	188,0
Hierro	mg/l	1	0,06
Sólidos Disueltos	mg/l	Max: 3500	672,0

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

De acuerdo al análisis final se puede observar en la gráfica a continuación, como los parámetros: pH, dureza, calcio, magnesio, bicarbonatos y sulfatos, que se encontraban fuera de las especificaciones establecidas por las normas para calderas de baja presión, esta posicionadas dentro de los valores requeridos para alimentar a la caldera y que pueda operar de una manera eficiente y segura.

Gráfico 01. PARÁMETROS FISICO-QUIMICO DEL AGUA TRATADA



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.5 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de haber realizado las caracterizaciones iniciales del agua con la que estaban alimentando los calderos del Parque Acuático los Elenes del Cantón Guano, se encontró que el agua contenía una gran cantidad sales entre ellas de calcio y magnesio.

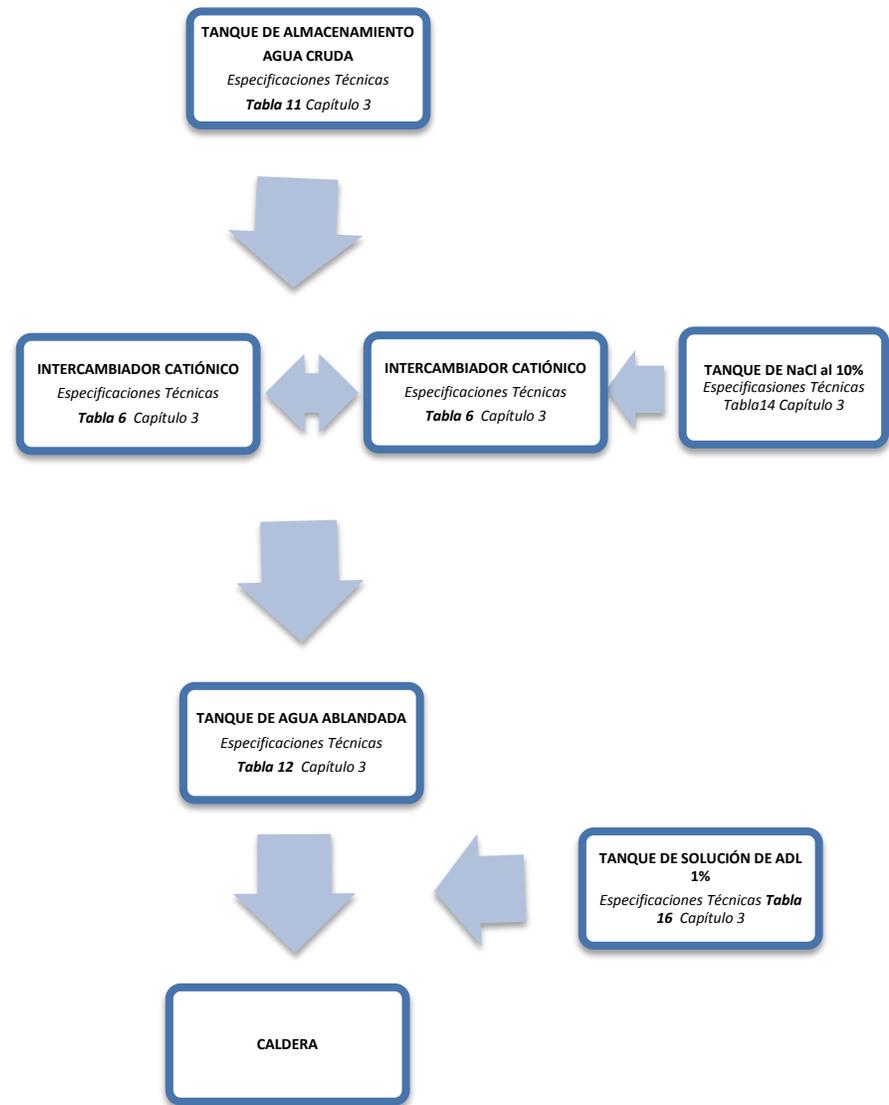
En consecuencia a la presencia de estas sales el agua presenta característica de dureza, causando problemas en el sistema de calefacción como incrustaciones en la tuberías y en dentro del caldero, es por ello que uno de los calderos que estaban ubicado en paralelo fue sacado de la operación debido a los grandes daños producto del agua dura.

Es por ello que se buscó solucionar este problema que presentaba el agua a través de la aplicación de un tratamiento externo, que nos permita obtener las características establecidas por las normas American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Norma Española (UNE 9-075-92) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004), para calderos de baja presión.

En base a las características físico-química del agua se estableció el siguiente sistema de tratamiento de agua para los calderos constituido por: un tanque de almacenamiento para el agua cruda, dos intercambiadores de cationes en donde el uno entrará a operar para producir agua ablandada, mientras el otro entra al ciclo de regeneración, de esta manera se tendrá agua ablandada suficiente para alimentar al caldero.

Para el ciclo de regeneración existirá un tanque que contendrá la solución de cloruro de sodio al 10%, el agua ablandada producto del intercambio catiónico será recogida dentro de un tanque horizontal, el agua será transportada al caldero que se encuentra en operación pero antes de esto se adicionará la solución del producto químico TQ-SOFT- ADL al 1% que nos ayudará a regular el pH y a reducir efectos incrustantes y corrosivo.

Figura 02. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUA DE LOS CALDEROS.

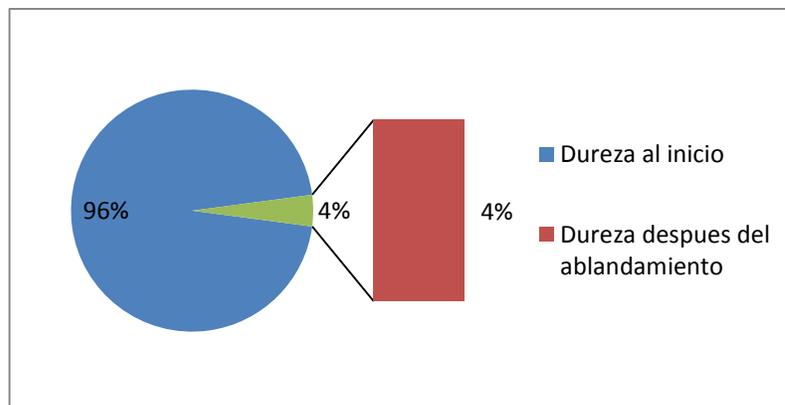


Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Este diagrama representa el sistema que se considera para darle el tratamiento externo al agua antes de que ingrese a la caldera.

Al inicio el agua cruda presenta una dureza de 548,8 mg/L, que corresponde al 96% y después del ablandamiento la dureza disminuye a 24 mg/L siendo un porcentaje del 4% de la dureza en relación a la inicial:

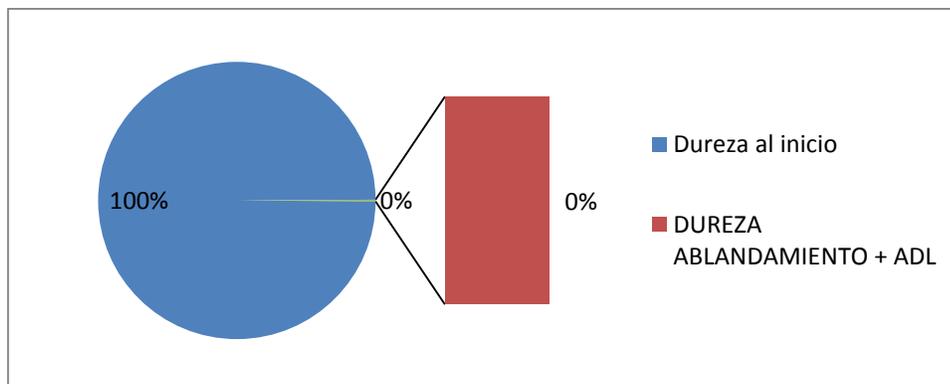
Gráfico 02. DUREZA AGUA CRUDA Y DUREZA AGUA ABLANDADA



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

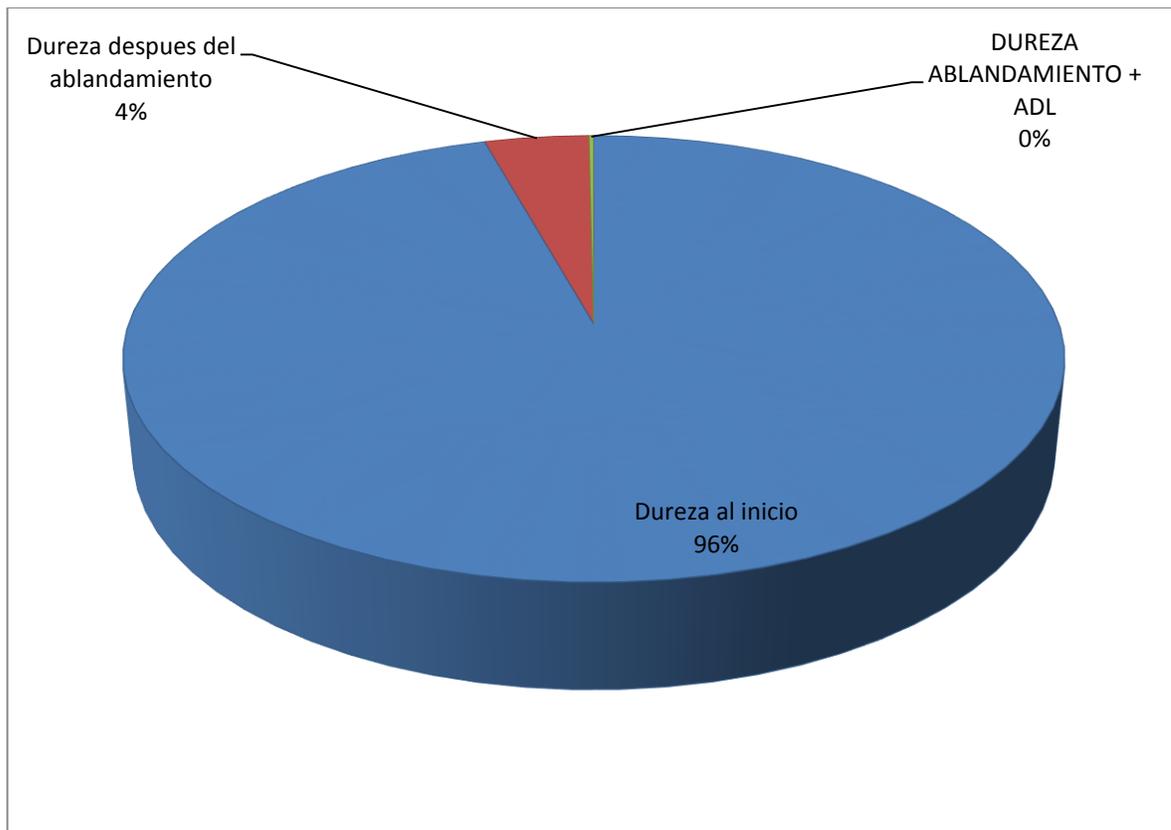
En relación a la cantidad de dureza después del ablandamiento más la adición del químico ADL obtenemos los siguientes porcentajes en relación a la cantidad de dureza en el agua:

Gráfico 03. DUREZA AGUA CRUDA Y DUREZA AGUA ABLANDADA + ADL



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

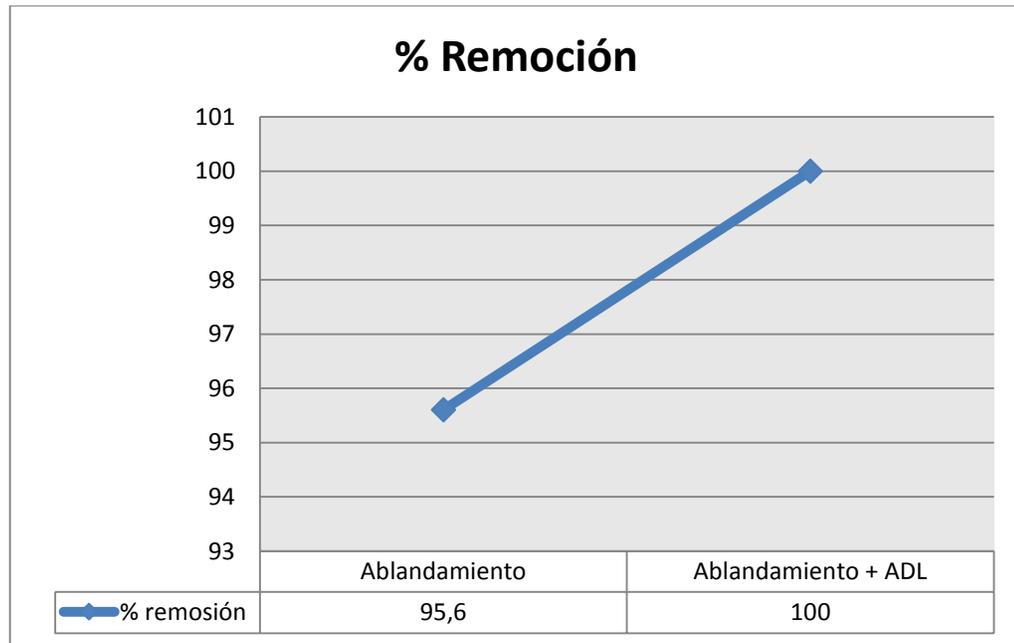
Gráfico 04. DUREZA AL INICIO, DESPUÉS DEL ABLANDAMIENTO Y MÁS EL ADL



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

A continuación presentamos la cantidad de dureza removida aplicando el tratamiento anteriormente mencionado:

Gráfico 05. PORCENTAJES DE REMOCIÓN



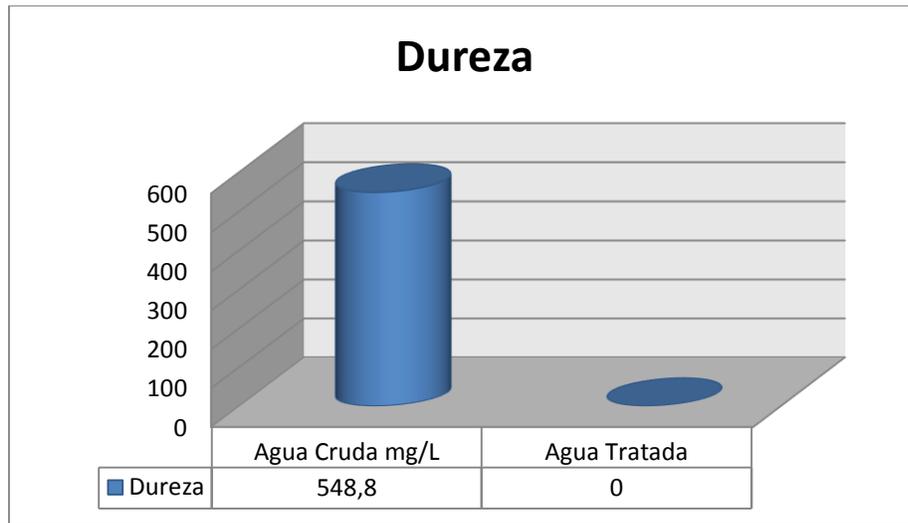
Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Al realizar solo el tratamiento de ablandamiento obtenemos un porcentaje de remoción de la dureza del 95,6%, comprobando la eficiencia del ablandador y sobre todo de la cantidad removida.

En tanto que al adicionar la solución de ADL después del ablandamiento, obtenemos un porcentaje de remoción del 100% de los contaminantes, además de regular el pH y brindarle características idóneas al agua para la alimentación de calderas.

Por lo tanto el valor de la dureza al final del tratamiento será menor a 4 mg/L, consiguiendo un rendimiento del 100%:

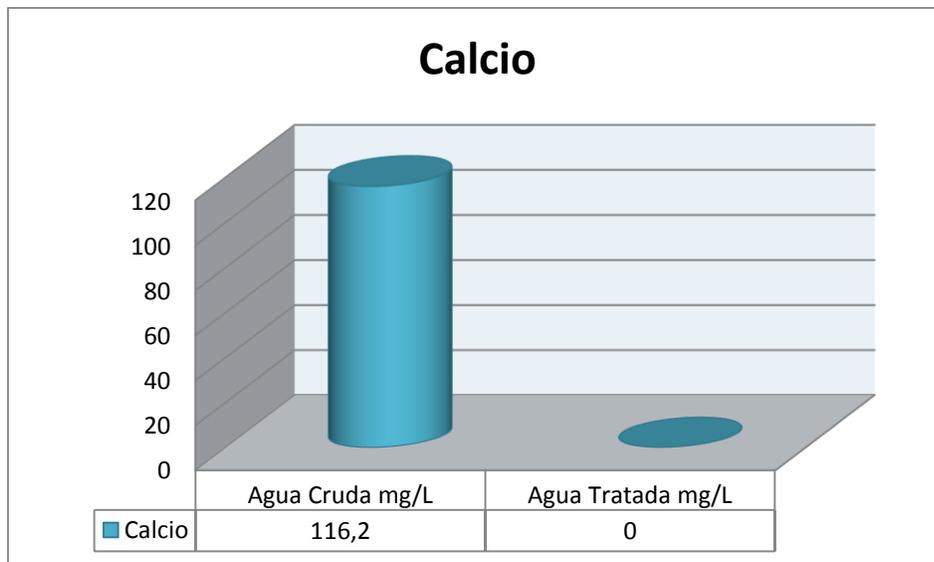
Gráfico 06. DUREZA AL FINAL DEL TRATAMIENTO



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

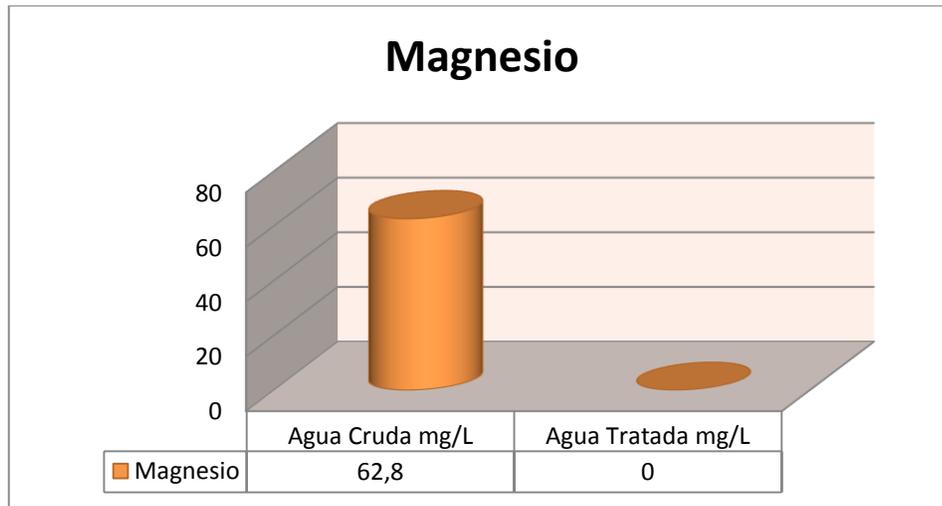
Para el calcio y el magnesio los valores obtenidos son menores a 0,1 mg/L:

Gráfico 07. CALCIO AL FINAL DEL TRATAMIENTO



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Gráfico 08. MAGNESIO AL FINAL DEL TRATAMIENTO

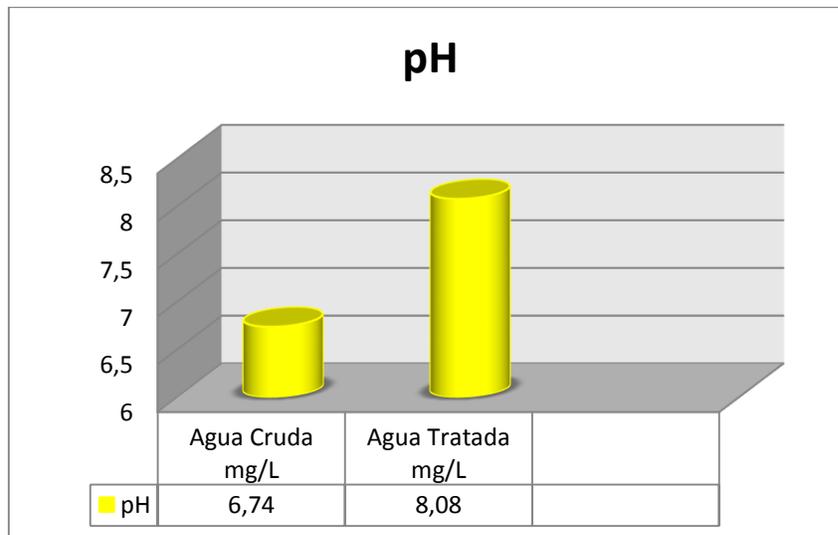


Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

El rendimiento tanto para el calcio como para el magnesio es del 100%.

El valor del pH mejoró de acuerdo a las especificaciones y después del tratamiento alcanzo un valor de 8,08

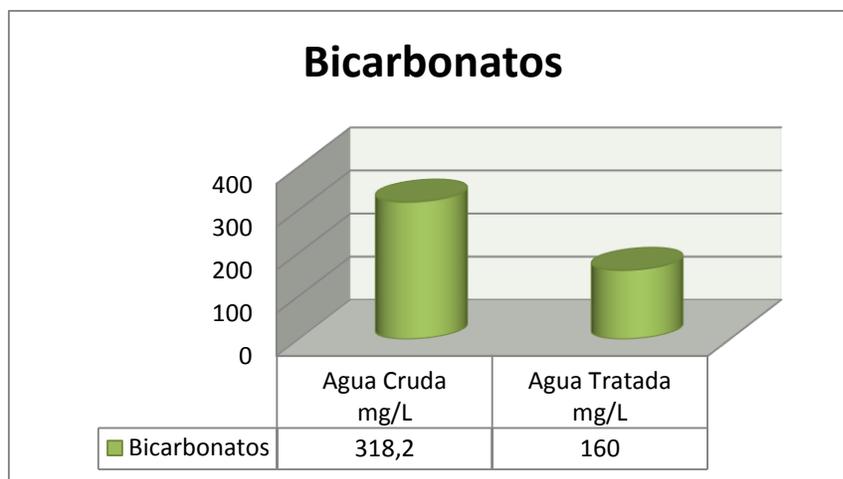
Gráfico 09. pH AL FINAL DEL TRATAMIENTO



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

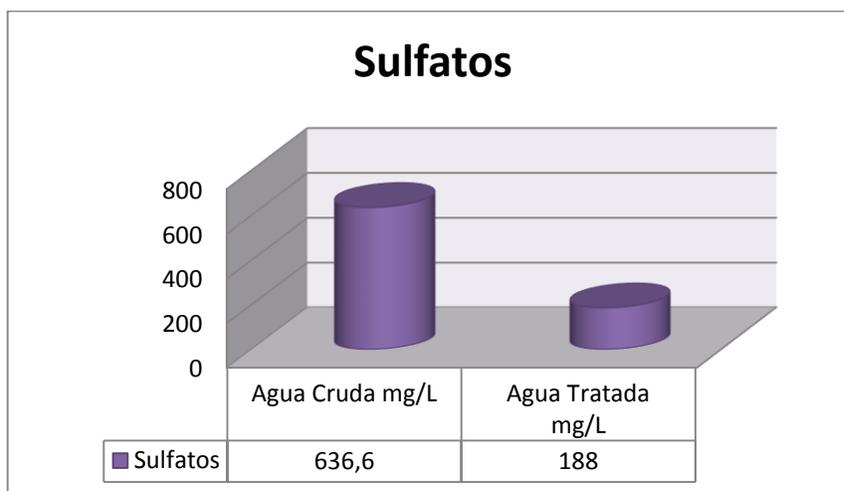
Finalmente el valor de los bicarbonatos después del tratamiento es de 160 mg/L con un rendimiento del 49,6 % y de los sulfatos su valor es de 188 mg/l y el rendimiento del 70,5%:

Gráfico 10. BICARBONATOS AL FINAL DEL TRATAMIENTO



Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

Gráfico 11. SULFATOS AL FINAL DEL TRATAMIENTO



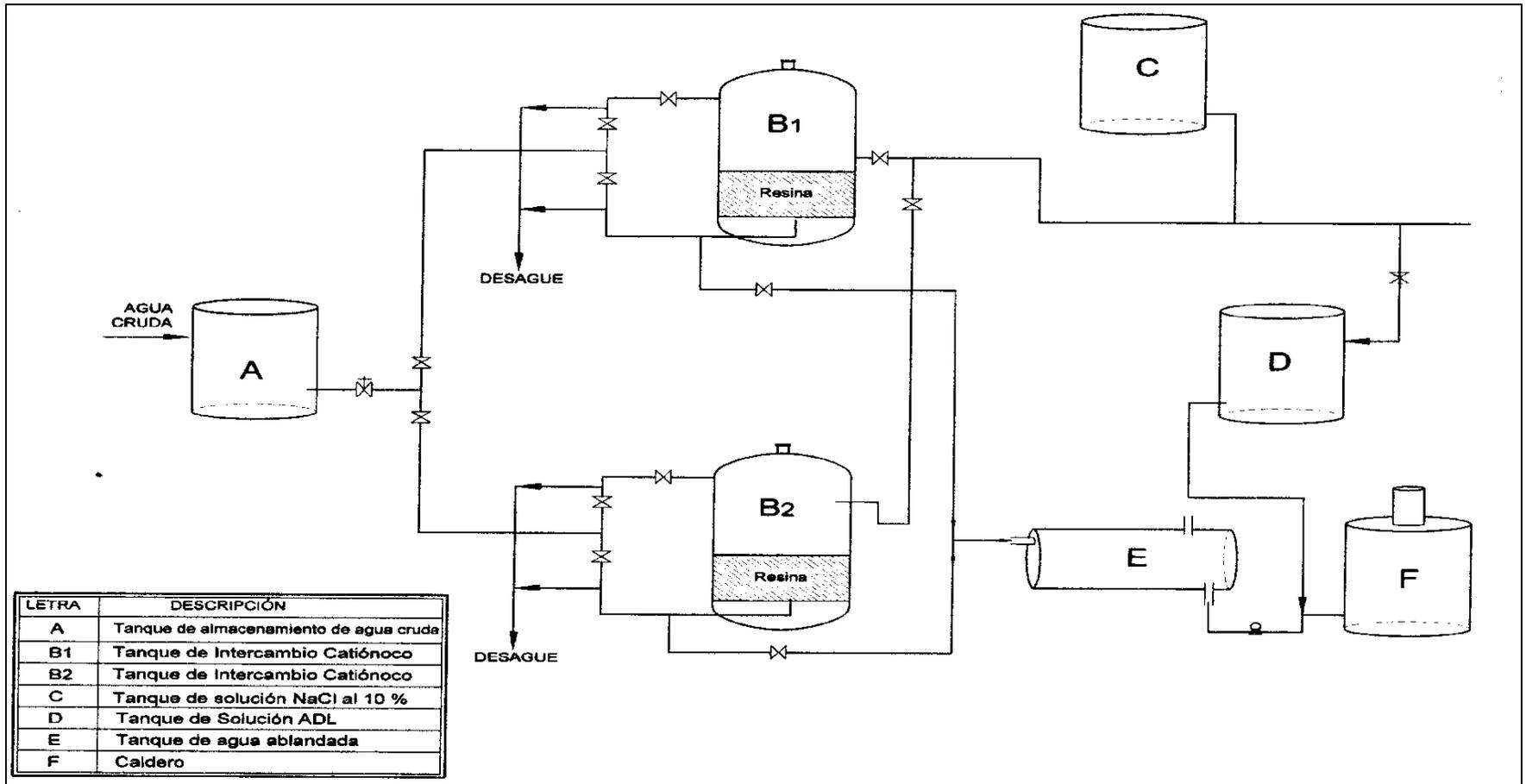
Elaborado por: PÉREZ, Jessica C.

3.6 PROPUESTA DE DISEÑO DEL TRAMIENTO PARA AGUA DE ALIMENTACION DE CALDEROS.

La planta de tratamiento se distribuirá con proyección a ofrecer ventajas en seguridad en la operación del proceso y mantenimiento que se realice, en el funcionamiento, acceso, y ergonomía, se espera realizar el costo mínimo en la implementación e instalación ocupando la superficie mínima necesaria.

Con base al análisis experimental se propone el siguiente sistema de tratamiento para el agua de alimentación a los calderos en el Parque Acuático los Elenes del Cantón Guano a continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema:

Figura 03. DIAGRAMA INGENIERIL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



Fuente: PÉREZ, Jessica, C.

ANÁLISIS DE INVERSIÓN

Las columnas de intercambio catiónico, el tanque para el regenerante y el tanque para la solución de ADL, se recomienda construirlos en Acero Inoxidable SA-240-304:

Tabla 18. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA DE LAS COLUMNAS DE INTERCAMBIO CATIONICO

COLUMNAS DE INTERCAMBIO CATIONICO				
MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO	COSTO UNT USD/KG	COSTO TOTAL
1	ACERO INOXIDABLE SA-240-304	31,5	\$ 4,32	\$ 135,91
2	TUBERIA SA-312-304	25,0	\$ 4,27	\$ 106,75
3	PERNOS INOX	1,5	\$ 15,00	\$ 22,80
4	BRIDAS INOX	5,8	\$ 15,00	\$ 87,00
5	CONSUMIBLES	5	\$ 29,00	\$ 145,00
6	LIQUIDO DE PASIVADO	1,000	\$ 73,00	\$ 73,00
SUBTOTAL 1				\$ 570,46
MANO DE OBRA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	HH	C. UNITARIO USD/HH	COSTO TOTAL
1	MANIPULEO INTERNO	0,1	5,0	\$ 0,7
2	CORTE MESA	1,4	5,0	\$ 6,9
3	CONF. ROLADO	5,6	5,0	\$ 28,2
4	CONF. BOMBEADO	1,1	5,0	\$ 5,7
5	CONF. REBORDEO	0,4	5,0	\$ 2,0
6	ENSAMBLE	3,0	5,0	\$ 15,1
7	SOL. SMAW MANUAL	3,6	5,0	\$ 18,2
8	SOL. GTAW TIG	2,4	5,0	\$ 12,1
9	ENS. Y SOLD. TUBO/ACCS.	1,5	5,0	\$ 7,6
10	ESMERILADO	1,7	5,0	\$ 8,6
11	PRUEBA HIDROSTATICA	0,3	5,0	\$ 1,6
12	LIMPIEZA	2,0	4,0	\$ 8,0
13	PASIVADO	2,8	4,0	\$ 11,2
SUBTOTAL 2				\$ 125,9
TOTAL				\$ 696,35

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 19. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE CLORURO DE SODIO

TANQUE ALMACENAMIENTO PARA EL REGENERANTE				
MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO	COSTO UNT USD/KG	COSTO TOTAL
1	ACERO AL CARBONO SA-240-304	5,0	\$ 4,32	\$ 21,60
2	TUBERIA SA-312-304	2,0	\$ 4,27	\$ 8,54
3	PERNOS INOX	1,5	\$ 15,00	\$ 22,50
4	BRIDAS INOX	1,5	\$ 15,00	\$ 22,50
5	CONSUMIBLES	2	\$ 29,00	\$ 58,00
6	LIQUIDO DE PASIVADO	1,000	\$ 73,00	\$ 73,00
SUBTOTAL 1				\$ 206,14
MANO DE OBRA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	HH	C. UNITARIO USD/HH	COSTO TOTAL
1	MANIPULEO INTERNO	0,1	5,0	0,5
2	CORTE MESA	1,4	5,0	7,0
3	CONF. ROLADO	5,6	5,0	28,0
4	CONF. BOMBEADO	1,1	5,0	5,5
5	CONF. REBORDEO	0,3	5,0	1,5
6	ENSAMBLE	3,0	5,0	15,0
7	SOL. SMAW MANUAL	3,6	5,0	18,0
8	SOL. GTAW TIG	1,5	5,0	7,5
9	ENS. Y SOLD. TUBO/ACCS.	1,2	5,0	6,0
10	ESMERILADO	1,6	5,0	8,0
11	PRUEBA HIDROSTATICA	6,5	5,0	32,4
12	LIMPIEZA	2,0	4,0	8,0
13	PASIVADO	4,0	4,0	16,0
SUBTOTAL 2				148,6
TOTAL				\$ 354,74

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 20. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE ADL

TANQUE ALMACENAMIENTO PARA EL ADL				
MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO	COSTO UNT USD/K G	COSTO TOTAL
1	ACERO AL CARBONO SA-240-304	10,0	\$ 4,32	\$ 43,20
2	TUBERIA SA-312-304	2,5	\$ 4,27	\$ 10,68
3	PERNOS INOX	2,8	\$ 15,00	\$ 42,00
4	BRIDAS INOX	1,8	\$ 15,00	\$ 27,00
5	CONSUMIBLES	3	\$ 29,00	\$ 87,00
6	LIQUIDO DE PASIVADO	1,000	\$ 73,00	\$ 73,00
SUBTOTAL 1				\$ 282,88
MANO DE OBRA				
ITE M	DESCRIPCIÓN	HH	C. UNITARI O USD/HH	COSTO TOTAL
1	MANIPULEO INTERNO	0,1	5,0	0,5
2	CORTE MESA	1,4	5,0	7,0
3	CONF. ROLADO	5,6	5,0	28,0
4	CONF. BOMBEADO	1,1	5,0	5,5
5	CONF. REBORDEO	0,3	5,0	1,5
6	ENSAMBLE	3,0	5,0	15,0
7	SOL. SMAW MANUAL	3,6	5,0	18,0
8	SOL. GTAW TIG	1,5	5,0	7,5
9	ENS. Y SOLD. TUBO/ACCS.	1,2	5,0	6,0
10	ESMERILADO	1,6	5,0	8,0
11	PRUEBA HIDROSTATICA	3,2	5,0	16,0
12	LIMPIEZA	2,0	4,0	8,0
13	PASIVADO	2,8	4,0	11,2
SUBTOTAL 2				132,2
TOTAL				\$ 415,08

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 21. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA

TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA CRUDA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL \$
HORMIGON SIMPLE F' C = 210 KG/CM2	m ³	40,00	160,00	6400,00
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON MADERA DE MONTE	m ³	5,25	11,00	57,75
EXCAVACION MANUAL	m ³	2,21	3,00	6,63
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m ²	6,90	7,50	51,75
TUBERIA PVC-D 75 MM	m	18,00	5,25	94,50
VALVULA COMPUERTA 03''	U	4,00	148,00	592,00
TOTAL				\$ 7202,63

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 22. MATERIALES Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA ABALNADADA

TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA ABLANDADA				
DESCRIPCIÓN	UNIDA D	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL \$
HORMIGON SIMPLE F' C = 210 KG/CM2	m ³	15,00	160,00	2400,00
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON MADERA DE MONTE	m ³	5,25	11,00	57,75
EXCAVACION MANUAL	m ³	2,21	3,00	6,63
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m ²	6,90	7,50	51,75
TUBERIA PVC-D 75 MM	m	5,00	5,25	26,25
VALVULA BOLA 2 1/2''	U	3,00	148,00	444,00
TOTAL				\$ 2986,38

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 23. COSTO TOTAL DE TANQUES Y COLUMNAS DE INTERCAMBIO

Cantidad	TANQUES	MATERIAL	TOTAL COSTOS \$
2	Columnas de Intercambio Catiónico	ACERO AL CARBONO SA-240-304	696,35
1	Tanque para Regenerante	ACERO AL CARBONO SA-240-304	354,74
1	Tanque para solución de ADL	ACERO AL CARBONO SA-240-304	415,08
1	Tanque para Almacenamiento de Agua Cruda	HORMIGON SIMPLE F' C = 210 KG/CM2	7202,63
1	Tanque para Almacenamiento Agua Ablandada	HORMIGON SIMPLE F' C = 210 KG/CM2	2986,38
TOTAL			\$ 11594,84

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 24. COSTOS EQUIPO Y ACCESORIOS PARA CONEXIONES

Cantidad	Equipos/ Accesorios	Material	Capacidad/ Dimensiones	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
6	Tubería (m)	PVC	1 pulg	0,85	5,10
2	Tubería (m)	PVC	2 pulg	1,32	2,64
4	Codos de 90°	PVC	1 pulg	0,80	3,20
4	Codo de 90°	PVC	2 pulg	1,50	6,00
1	T	PVC	1 pulg	0,80	0,80
13	Válvula de bola	Acero Inoxidable	2 pulg	25,00	325,00
4	Válvulas de 3 vías	Acero Inoxidable	2 pulg	30,00	120,00
3	Válvulas de bola	Acero Inoxidable	1 pulg	15,00	45,00
1	Bomba para		1 HP	370,00	370,00
0,04 m ³	Resina catiónica fuertemente ácida		-	3200/ m ³	128,00
TOTAL					1005,74

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 25. TOTAL DE LA INVERSIÓN

DETALLE	COSTO \$
COSTO TOTAL DE TANQUES Y COLUMNAS DE INTERCAMBIO	11594,84
COSTOS EQUIPO Y ACCESORIOS PARA CONEXIONES	1005,74
TOTAL	\$ 12600,58

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

Tabla 26. GASTOS DE OPERACIÓN AL DÍA

Requerimientos	Dosis	Presentación	Costo por presentación (\$)	Costo total (\$)
Cloruro de sodio (NaCl)	3,91 Kg/día	Saco de 25 Kg	4,60	4,60
Producto Químico TQ-SOFT-ADL	2,12 L ADL/día	Envases de 220 Kg	50,00	507,58
			TOTAL	\$ 512,18

Elaborado por: PÉREZ, Jessica, C.

CONCLUSIONES

- ✓ Se diseñó el Sistema de Tratamiento para el agua de alimentación a los calderos en el Parque Acuático los Elenes del Cantón Guano, de acuerdo a las especificaciones para el proceso, códigos y estándares de Ingeniería de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ASME – Sección VIII, DIV.1; y American Institute of Steel Construction AISC.
- ✓ Se caracterizó la fuente de abastecimiento de agua que es provista para la alimentación de las calderas, en donde los parámetros analizados para agua de calderos se encontraba fuera de las especificaciones de las normas American Boiler Manufacturer's Association (ABMA), American Society of Mechanical Engineering (ASME), Norma Española (UNE 9-075-92) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA/625/R-92/004) para calderos de baja presión.
- ✓ Determinamos las variables de diseño para el sistema de tratamiento del agua de alimentación para los calderos, en los cuales consideramos de acuerdo a las características del lugar y del fluido en este caso del agua y el análisis físico-químico, el tratamiento externo que se realizará en el agua es un ablandamiento utilizando resinas catiónicas.
- ✓ Se caracterizó el agua tratada con la implementación del tratamiento, el mismo que consiste en un ablandamiento con resinas catiónicas y posteriormente se adiciona el producto químico TQ-SOFT-ADL que acondiciona el agua previo a ser utilizada para alimentar los calderos, encontrándose los parámetros dentro de las especificaciones establecidas por las normas.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda aplicar el sistema de tratamiento para el agua de alimentación a calderos, debido a que el agua que se está utilizando actualmente, requiere con urgencia que se realice un tratamiento externo antes de ingresar a los calderos con el fin de proteger el sistema de calefacción y aumentar su eficiencia, permitirá reducir costos dentro de la institución.
- ✓ Con el sistema de tratamiento ya instalado se recomienda seguir las especificaciones establecidas para este sistema, para evitar errores en el proceso del tratamiento y que opere eficientemente
- ✓ El ciclo de regeneración de la resina se efectuará de acuerdo a las especificaciones establecidas para este sistema.
- ✓ Se debe considera la normativa para almacenamiento de productos químicos.
- ✓ Se recomienda también realiza purgas periódicas para eliminar lodos que puedan formarse dentro de los calderos.
- ✓ La persona responsable de la operación y mantenimiento de los calderos deberá estar capacitada para realizar el tratamiento químico del agua de alimentación previo al ingreso a los calderos.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION; Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de Suministros de Agua Comunitaria; 5AEd; McGraw-Hill Book Profesional; Pp. 576-587

APHA., AWWA., WPCF., Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales., 17 ed., Madrid -España., Editorial Días de Santos., 1992., Pp., 92 – 110.

GONZÁLEZ, M.; Análisis de riegos del Tratamiento del Agua para Calderas; México D.F – México; Editorial Plaza y Valdez; 1999; Pp. 15-25, 35, 39, 65-70.

KOHAN, Lawrence Anthony; Manual de Calderas: “Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimiento y normativa; 3AEd; México D.F – México; McGraw – Hill Book Co; 2000; Pp. 540-544, 558-560

ROMERO, J. A.; Purificación del Agua; 2AEd; Colombia; Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 2006; Pp. 357-359

SIERRA, R. Carlos Alberto; Calidad del Agua. Evaluación y Diagnóstico; Universidad de Medellín; Medellín-Colombia; 2011; Pp. 27-28,47-48,52-68, 115-116.

VERREY, Jack. M; Agua su Calidad y Tratamiento. Manual preparado por la American Water Works Association; Unión Tipográfica Editorial Hispanoamérica; México D.F – México; Pp. 1-8, 301-321, 323-390.

BAHAMONDES Abarca Pedro, **DÜMMER** Oswald Walter; Manual de Agua de Alimentación de Calderas; *Asociación Chilena de Seguridad ACHS*; Chile; Pp. 9-15

http://www.achs.cl/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Paginas/Agua_de_alimentacion_de_calderas.aspx?category=Metalurgia-Metalmec%C3%A1nica

2014-08-01

BAHAMONDES Abarca Pedro, **DÜMMER** Oswald Walter; Manual Descripción de Calderas y Generadores de Vapor; *Asociación Chilena de Seguridad ACHS*; Chile; Pp. 24

http://www.achs.cl/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Paginas/Descripciones_de_calderas_y_generadores_de_vapor.aspx?category=Metalurgia-Metalmec%C3%A1nica

2014-08-01

ROJAS, Bustamante Oscar; Manual Básico para Medir Caudales.; *FONAC Fondo para la Protección del Agua*; Quito-Ecuador; 2006; Pp. 8-17.

<http://www.bivica.org/upload/medir-caudales-manual.pdf>

2014-08-01

CARRILLO, Aragón Alberto; Diseño de una Planta de Intercambio de Iones para producir Agua Desionizada de Proceso; (TESIS); Ingeniero Químico; Facultad de Ciencias; Escuela de Ingeniería Química; Cádiz, Andalucía-España; 2007; Pp. 69-82, 101-106, 163-189.

<http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6484/33287132.pdf?sequence=1>

2015-04-25

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 de Lácteos de Tunshi; (TESIS); Ingeniero Químico; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Facultad de Ciencias; Escuela de Ingeniería Química; Riobamba-Ecuador; 2013; Pp. 36-40, 102.

<http://hdl.handle.net/123456789/3213>

2014-04-05

GUAMÁN Guachichulca Noé Rodrigo; Elaboración de un Programa Informático para Control de Calidad de Agua para Consumo en Calderas Pertenecientes a la Compañía Cartones Nacionales S.A.; (TESIS); Ingeniero Industrial; Universidad de Cuenca; Facultad de Ciencias Químicas; Escuela de Ingeniería Industrial; Cuenca-Ecuador; 2011; Pp. 13-43.

<dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/819/1/tn208.pdf>

2014-08-10

ASOCIACION CHILENA DE SEGURIDAD

<http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Paginas/Inicio.aspx>

2014-08-01

ESTÁNDARES Y MÉTODOS PARA INTERCAMBIADORES IONICOS; Ingeniería de Procesos en el Intercambio Iónico.

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/609/Capitulo7.pdf>

2014-08-16

GUÍA BÁSICA DE CALDERAS INDUSTRIALES EFICIENTES

<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>

2014-08-16

MANUAL DE TRATAMIENTO DE CALDERAS; VAPENSA.

<http://www.vapensa.com/manuales.html>

2014-08-16

ANEXO A

NORMA TÉCNICA ESPAÑOLA UNE 9-075-92

CDU 621.18

Octubre 1992

Imprime y edita: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid - Teléfono 3 10 49 61 - Reproducción prohibida

**NORMA
ESPAÑOLA**

**Calderas en vapor
CARACTERÍSTICAS DEL AGUA**

**UNE
9-075-92**

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma tiene por objeto indicar los límites recomendables en las características del agua de alimentación y del agua del interior de las calderas de tubos de humos y acuotubulares para evitar la corrosión, la fragilidad cáustica, los depósitos e incrustaciones sobre las superficies metálicas, y los arrastres en el vapor, con la finalidad de conseguir una calidad adecuada del vapor obtenido. No obstante, en algunos casos particulares podrán existir desviaciones de los presentes límites, en función del tipo y diseño de la caldera y de sus condiciones de servicio y utilización.

Para cumplir las condiciones impuestas en esta norma se deberá disponer de los medios correctivos de las características del agua, dependiendo éstos no sólo de dichas características sino también del tipo de generador y de sus condiciones de servicio y utilización.

1.2 En cada instalación en particular, el usuario se responsabilizará del suministro de agua de alimentación en las condiciones requeridas para la misma, y deberá consultar al fabricante de la caldera y a los especialistas en tratamiento de aguas para calderas sobre cual es el tratamiento más adecuado en cada caso, debiendo registrar los resultados de los análisis periódicos efectuados que como mínimo serán de uno al mes.

2 DEFINICIONES, UNIDADES Y EQUIVALENCIAS

2.1 Generalidades

Las calderas de vapor conservan todas las sustancias que entran en su interior con el agua de alimentación, (salvo las materias volátiles que son arrastradas junto con el vapor) y por efecto de la evaporación son concentradas, así pues, existe una relación directa entre la calidad del agua de alimentación y la calidad del agua en el interior de la caldera.

La concentración de estas sustancias en el agua de la caldera, comporta fuertes concentraciones de materias sólidas disueltas y en particular cuando no se efectúa desmineralización alguna.

Continúa en páginas 2 a 7

Secretaría del
CTN
SERCOMETAL

Esta 3ª Revisión anula y sustituye a la 2ª Revisión de fecha diciembre de 1985.
Las observaciones relativas a la presente norma deben ser dirigidas a AENOR - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid

UNE 9-075-92

Steam boilers. Water quality.
Chaudières de vapeur. Caractéristiques de l'eau.

© AENOR 1992

Depósito legal: M 32 808-92

Grupo 4

Las sustancias contenidas en el agua de la caldera influyen sobre las propiedades corrosivas del agua y sobre la formación de depósitos en la propia caldera y eventualmente en el sobrecalentador, si existe. Esta concentración debe absolutamente limitarse, en tanto que la solubilidad de ciertas sales (sulfatos, fosfatos) disminuye cuando la temperatura aumenta, facilitándose así los depósitos en soluciones sobresaturadas.

Las principales impurezas del agua, así como su forma y sus efectos, se han recogido en la tabla 1.

Tabla 1
Principales impurezas del agua y sus efectos

Impureza	Fórmula	Forma	Efectos
Dióxido de carbono	CO ₂	Gas	Corrosión
Oxígeno	O ₂	Gas	Corrosión
Materias en suspensión		Sólidos no disueltos (Turbiedad)	Depósitos, espumas y arrastres en el vapor
Materia orgánica		Sólidos disueltos y no disueltos	Depósitos, espumas y arrastres en el vapor
Aceite		Coloidal	Depósitos, espumas y arrastres en el vapor
Acidez	H ⁺		Corrosión
Dureza	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	Sales disueltas	Incrustaciones
Alcalinidad	CO ₃ ⁼ , CO ₃ H ⁻ , OH ⁻	Sales disueltas	Espumas, arrastres en el vapor, desprendimiento de CO ₂ , fragilidad cáustica
Salinidad (TSD)		Sales disueltas	Depósitos, espumas y arrastres en el vapor
Sulfatos	SO ₄ ⁼	Sales disueltas	Aumento salinidad, con Ca ⁺⁺ forma incrustaciones muy duras
Cloruros	Cl ⁻	Sales disueltas	Aumento salinidad y corrosividad
Sílice	Si O ₂	Sales disueltas, a veces coloidal	Incrustaciones y depósitos sobre turbinas u otros aparatos utilizados
Hierro, Manganeso	Fe, Mn	Sales disueltas o insolubles	Depósitos
Cobre	Cu	Sales disueltas o insolubles	Depósitos y corrosión

2.1.1 Corrosión. El material normalmente utilizado en la fabricación de las calderas es el acero. El acero es atacado tanto por el agua como por el vapor de agua. En condiciones apropiadas, este ataque puede formar sobre el metal una capa protectora, adherida, de magnetita que impide cualquier otro ataque posterior tanto del agua como del vapor, jugando un papel de inhibidor de la corrosión. Estas capas de magnetita son indispensables para la lucha contra la corrosión.

2.1.2 Depósitos. Los productos de corrosión disminuyen la calidad del agua de alimentación o del agua de la caldera a causa de los depósitos que se producen. Estos depósitos pueden resultar de la cristalización de sustancias disueltas provenientes de soluciones sobresaturadas o por precipitación de sólidos en suspensión. Según la morfología de ciertos depósitos, los electrolitos disueltos en el agua pueden llegar a concentraciones tales que pueden, según sea la carga térmica, dañar el material de la caldera por corrosión.

2.1.3 Sólidos en suspensión y sustancias disueltas. Los sólidos en suspensión, las sustancias orgánicas emulsionadas y las sustancias disueltas incrementan la tendencia en la caldera a formar espumas que aumentan la impureza del vapor y producen depósitos sobre todo en el sobrecalentador.

Las materias orgánicas pueden contener una multitud de elementos incontrolables, tanto por su composición como por su comportamiento en las condiciones de funcionamiento de la caldera. Estos elementos pueden descomponerse en sustancias ácidas que reduciendo la alcalinidad del agua pueden, en consecuencia, comportar la corrosión de las partes metálicas de la caldera.

El aceite, solo o asociado a sustancias en suspensión del tipo de productos de corrosión, compuestos de calcio y magnesio no disueltos, puede formar depósitos capaces de dañar seriamente a la caldera.

2.1.4 Anhídrido carbónico. Según sea el tratamiento a que se ha sometido el agua de alimentación y según sea la temperatura y presión, el vapor de agua puede contener anhídrido carbónico, así como, otro tipo de sustancias disueltas en el agua de la caldera que pueden, en cierta medida, estar en solución en el vapor de agua.

Los condensados con base de ácido carbónico tendrán una acción corrosiva sobre los aceros al carbono, así como, el cobre y sus aleaciones. Este fenómeno puede minimizarse si se mantienen los valores directrices dados para el CO₂ combinado (bicarbonatos y carbonatos) en el agua de alimentación que se dan en las tablas que se adjuntan a esta norma.

2.1.5 pH. Es necesario respetar un valor mínimo de pH en el agua de alimentación o en el agua de la caldera. El valor superior de pH está generalmente determinado en función de los elementos de la instalación, no contemplando esta norma otros distintos al acero (por ejemplo cobre, aluminio, etc.).

3 DEFINICIONES

3.1 dureza: Indica la concentración de sales cálcicas y magnésicas del agua. Se expresa en miligramos por litro del contenido de sales de Ca y Mg expresados como CO₃ Ca. (1 mg/l de CO₃ Ca = 1 mmol/l = 0,1 °hf).

3.2 alcalinidad total (m): Expresa la concentración de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos disueltos en el agua. Su unidad es el miliequivalente por litro, meq/l (1 TAC = 5 m).

3.2.1 alcalinidad parcial (p): Expresa la concentración de hidróxidos y la mitad del contenido de carbonatos disueltos en el agua. Su unidad es el miliequivalente por litro, meq/l (1 TA = 5p).

3.2.2 En las calderas acuotubulares, el valor de la alcalinidad total en el agua de la caldera representa una concentración de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, silicatos y fosfatos, expresada en miligramos por litro de CO₃ Ca. (1 meq/l = 50 ppm CO₃ Ca = 50 mg/l CO₃ Ca).

3.3 salinidad (TSD): Expresa la concentración del total de sales disueltas en el agua. Su unidad es el miligramo por litro, mg/l (1 mg/l = 1 ppm = 2,5 µS).

3.4 turbiedad: Expresa la concentración de materias en suspensión, coloidal o no, en el agua.

3.5 conductividad eléctrica: Mide la propiedad del agua a conducir la corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos. Expresa la concentración en gases y sales ionizables.

Su unidad es el μ Siemens por centímetro (μ S/cm), que es la inversa de la resistencia en megohmios medida entre caras de 1 cm^2 de sección, opuestas y distantes 1 cm entre sí, en una disolución de cloruro sódico de $0,4 \text{ mg/l}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura, exenta de CO_2 ó NH_3 .

La conductividad eléctrica del agua de la caldera se determinará después de neutralizar la muestra a pH-7 con ácido gálico. Este valor es orientativo acerca del contenido total de sales disueltas.

3.6 pH: Expresa el grado de acidez o de alcalinidad del agua.

Es el cologaritmo de la concentración de iones hidrógeno, H^+ .

3.7 total de sales disueltas en el vapor: Es la suma de las sales incorporadas en el vaporizado como tal y de las que provienen de los arrastres mecánicos. Su concentración se expresa en mg/l.

El total de las sales disueltas en el vapor saturado, excluido el SiO_2 , viene dado por la cantidad de sodio existente (vaporizado y mecánico) en una muestra de condensado según la siguiente ecuación:

$$\text{TSD en vapor} = \frac{\text{TSD en agua de caldera}}{\text{Na en agua de caldera}} \cdot (\text{Na vapor})$$

3.7.1 arrastres vaporizados

3.7.1.1 sílice en el vapor: Esta sílice aparece principalmente por la vaporización de la sílice disuelta en el agua de la caldera y depende de la presión de servicio y del pH del agua.

3.7.1.2 arrastre en el vapor: Es la suma de los compuestos de sodio contenidos en el vapor saturado.

3.7.2 arrastre mecánico: Es la cantidad de materia, disuelta o no, incorporada en las gotas de agua que arrastra el vapor saturado.

4 TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN Y DEL AGUA DE LA CALDERA

4.1 Generalidades

Para mejorar la calidad del agua de alimentación y del agua en la caldera y respetar las condiciones de calidad que se dan en las tablas de esta norma, según sea el tipo de caldera, es necesario someter el agua al correspondiente tratamiento.

El contenido de sustancias corrosivas en el agua de alimentación antes de su entrada en la caldera debe ser lo más bajo que sea posible.

4.2 Compuestos de calcio y magnesio

Los compuestos de calcio y magnesio contenidos en el agua de alimentación precipitan preferentemente sobre las superficies sometidas a fuertes cargas térmicas. Así pues, es necesario someter el agua de aporte a un tratamiento de ablandamiento (descalcificación), normalmente por un método de cambio de iones para eliminar los iones de calcio y magnesio.

Tabla 3
Agua de alimentación en calderas pirotubulares

Presión máxima de servicio (bar)	MPa	$\leq 0,049$	$> 0,049$
	(bar)	($\leq 0,5$)	($> 0,5$)
Aspecto visual		Transparente, sin color ni sedimentos	
Dureza en mg/l de $\text{CO}_3 \text{Ca}$		≤ 10	≤ 5
Oxígeno disuelto (O_2), en mg/l		-	$\leq 0,2$
pH a 20 °C		8 a 9	8 a 9
CO_2 en forma de $\text{CO}_3 \text{H}^-$, en mg/l		≤ 25	≤ 25
Aceites y grasas en mg/l		≤ 3	≤ 1
Materias orgánicas valoradas en mg/l de $\text{Mn O}_4 \text{K}$ consumido ¹⁾		≤ 10	≤ 10

1) En el caso de alta concentración de materias orgánicas no oxidables con $\text{Mn O}_4 \text{K}$ y sí oxidables con $\text{CrO}_3 \text{K}_2$ se consultará a un especialista.

5.2 Agua del interior de la caldera

Las características correspondientes al agua en el interior de las calderas de tubos de humo se indican en la tabla 4.

Tabla 4
Agua en el interior de las calderas pirotubulares

Presión máxima de servicio (bar)	MPa	$\leq 0,049$	$0,049 < p \leq 1,275$	$> 1,275$
	(bar)	($\leq 0,5$)	($0,5 < p \leq 13$)	(> 13)
Salinidad total, en mg/l	Vaporización media $\leq 40 \text{ kg/m}^2$	$\leq 6\,000$	$\leq 6\,000$	$\leq 4\,000$
	$> 40 \text{ kg/m}^2$	$\leq 5\,000$	$\leq 5\,000$	$\leq 3\,000$
Sólidos en suspensión, en mg/l		≤ 300	≤ 300	≤ 250
Alcalinidad total, en mg/l $\text{CO}_3 \text{Ca}$		$\leq 1\,000$	≤ 800	≤ 600
pH a 20 °C		10,5 a 12,5	10 a 12	10 a 12
Fosfatos, en mg/l $\text{P}_2 \text{O}_5$		≤ 30	≤ 25	≤ 20
Sílice, en mg/l Si O_2 ¹⁾		≤ 250	≤ 200	≤ 150 ²⁾

1) Las concentraciones de Si O_2 en el agua de la caldera guardarán la relación:

$$\frac{\text{Si O}_2 \text{ (mg/l)}}{m \text{ (m mol/l)}} < 12,5$$

2) En aquellos casos en que existe un sobrecalentador, se limitará a 100 mg/l para $p < 1,96 \text{ MPa}$ (20 bar) y a 75 mg/l para presiones superiores.

ANEXO B

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Jessica Pérez

Fecha de análisis: 16 de junio de 2014

Fecha de entrega de resultados: 25 de junio de 2014

Tipo de muestra: Agua para alimentacion de calderas

Localidad: Parque acuatico Los Elenes

TRABAJO DE TESIS

Código: 235-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	7-10	6.74
Conductividad	μ Siems/cm	3500	1395
Turbiedad	UNT	5	0.1
Cloruros	mg/L		31.2
Dureza	mg/L	max 20	548.8
Calcio	mg/L		116.2
Magnesio	mg/L		62.8
Alcalinidad	mg/L	350	312.0
Bicarbonatos	mg/L	170	318.2
Sulfatos	mg/L	200	636.6
Hierro	mg/L	1	0.036
Sólidos Disueltos	mg/L	3500	560.0

* Valores referenciales aguas de calderas de presion baja menor a 150 psi

Observaciones: Valores de pH, dureza y bicarbonatos fuera de norma

Atentamente,



Dra. Gina Alvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS



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

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio.

Los resultados constituyen el promedio de 5 determinaciones, de la caracterización inicial del agua..

ANEXO C

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA POR INTERCAMBIO CATIONICO

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Jessica Pérez

Fecha de análisis: 1 de agosto de 2014

Fecha de entrega de resultados: 8 de agosto de 2014

Tipo de muestra: Agua para alimentacion de calderas. Tratada (Intercambio ionico)

Localidad: Parque acuatico Los Elenes

TRABAJO DE TESIS

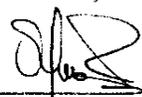
Código: 255-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	<i>7-10</i>	<i>6.99</i>
<i>Conductividad</i>	<i>μ Siems/cm</i>	<i>3500</i>	<i>1670</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>		<i>26.9</i>
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	<i>max 20</i>	<i>24.0</i>
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>		<i>6.4</i>
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>		<i>1.9</i>
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	<i>350</i>	<i>300.0</i>
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	<i>170</i>	<i>306.0</i>
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	<i>200</i>	<i>495.0</i>
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	<i>1</i>	<i>0.030</i>
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	<i>3500</i>	<i>669.0</i>

* Valores referenciales aguas de calderas de presion baja menor a 150 psi

Observaciones: Valores de pH, dureza y bicarbonatos fuera de norma

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS



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

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio.

Los resultados constituyen el promedio de 5 determinaciones, de la caracterización inicial del agua..

ANEXO D

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA CON INTERCAMBIO CATIONICO MAS TQ-SOFT-ADL

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Jessica Pérez

Fecha de análisis: 2 de octubre de 2014

Fecha de entrega de resultados: 2 de octubre de 2014

Tipo de muestra: Agua para alimentacion de calderas. Tratada (Intercambio ionico + ADL)

Localidad: Parque acuatico Los Elenes

TRABAJO DE TESIS

Código: 330-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	7-10	8.08
Conductividad	μ Siems/cm	3500	1677
Turbiedad	UNT	5	0.7
Cloruros	mg/L		35.5
Dureza	mg/L	max 20	< 4.0
Calcio	mg/L		<0.1
Magnesio	mg/L		<0.1
Alcalinidad	mg/L	350	133.0
Bicarbonatos	mg/L	170	160.0
Sulfatos	mg/L	200	188.0
Hierro	mg/L	1	0.06
Sólidos Disueltos	mg/L	3500	672.0

* Valores referenciales aguas de calderas de presion baja menor a 150 psi

Observaciones: Valores dentro de norma.

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS



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

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio. Los resultados constituyen el promedio de 5 determinaciones, de la caracterización inicial del agua..

ANEXO E

HOJA TÉCNICA DE RESINA CATIÓNICA PUROLITE C-100



C-100

Strong Acid Cation Exchange Resin

(For use in water softening applications)

Technical Data

PRODUCT DESCRIPTION

PuroLite C-100 is a high capacity premium grade bead form conventional gel polystyrene sulphonate cation exchange resin designed for use in industrial or household water conditioning equipment. It removes the hardness ions, e.g. calcium and magnesium, replacing them with sodium ions. When the resin bed is exhausted and hardness ions begin to break through, capacity is restored by regeneration with common salt.

The capacity obtained depends largely on the amount of salt used in the regeneration. PuroLite C-100 is also capable of removing dissolved iron, manganese, and also suspended matter by virtue of the filtering action of the bed. PuroLite C-100 is in compliance with the U.S. Food and Drugs Code of Federal Regulations section 21, paragraph 173.25.

Typical Physical & Chemical Characteristics

Polymer Matrix Structure	Crosslinked Polystyrene Divinylbenzene
Physical Form and Appearance	Clear spherical beads
Whole Bead Count	90% min.
Functional Groups	R-SO ₃ ⁻
Ionic Form, as shipped	Na ⁺
Shipping Weight (approx.)	850 g/l (33 lb/ft ³)
Screen Size Range:	
- British Standard Screen	14 - 52 mesh, wet
- U.S. Standard Screen	16 - 50 mesh, wet
Particle Size Range	+1.2 mm <5%, -0.3 mm <1%
Moisture Retention, Na ⁺ form	44 - 48%
Swelling Na ⁺ → H ⁺	5% max.
Ca ⁺⁺ → Na ⁺	5% max.
Specific Gravity, moist Na ⁺ Form	1.29
Total Exchange Capacity, Na ⁺ form, wet, volumetric	2.0 eq/l min.
dry, weight	4.5 eq/kg min.
Operating Temperature, Na ⁺ Form	150°C (300°F) max.
pH Range, Stability	0 - 14
pH Range Operating, Na ⁺ cycle	6 - 10

USA: www.puroliteUSA.com

International: www.purolite.com

Standard Operating Conditions (Co-current Regeneration)

Operation	Rate	Solution	Minutes	Amount
Service	8 - 40 BV/h 1.0 - 5.0 gpm/ft ²	Influent water	- per design	- per design
Backwash	7 - 12 m/h 3.0-5.0 gpm/ft ²	Influent water 5° - 30° C (40° -80° F)	5 - 20	1.5 - 4 BV 10 - 20 gal/ft ²
Regeneration	2 - 7 BV/h 0.25 - 0.90 gpm/ft ²	8 - 20% NaCl	15 - 60	60 - 320 g/l 4 -10 lb/ft ²
Rinse, (slow)	2 - 7 BV/h 0.25 - 0.90 gpm/ft ²	Influent water	30 approx.	2 - 4 BV 15 - 30 gal/ft ²
Rinse, (fast)	8 - 40 BV/h 1.0 - 5.0 gpm/ft ²	Influent water	30 approx.	3 - 10 BV 24 - 45 gal/ft ²
Backwash Expansion 50% to 75% Design Rising Space 100% *Gallons* refer to U.S. Gallon = 3.785 litres				

OPERATING PERFORMANCE

The operating performance of **Purolite C-100** sodium cycle depends on:

- a) The amount and concentration of regenerant used.
- b) The total hardness of the water to be treated and its sodium content.
- c) The flowrate of the influent water through the bed.

Performance is usually assessed in terms of residual hardness in the treated water (traditionally expressed as ppm of CaCO₃, where 1 ppm corresponds to a divalent cation concentration of 0.02 meq/l). In municipal water softening, low regeneration levels and high removal efficiency are usually required. Acceptable water quality is usually obtained by a split-stream operation in which a fully-softened stream is blended with the raw to give the final product. For industrial use, a suitable treated water, with less than 5 ppm of hardness, can be obtained with a level of 70 to 80 kg salt per cubic metre (4.5 to 5 lb/ft³) of resin. If the softening is being carried out in order to feed a conventional low pressure boiler, where the requirements are for less than 1 ppm of hardness, at least double this level of regenerant will be required.

Hardness leakage under the standard operating conditions is normally less than 1% of the total hardness of the influent water, and the working capacities are not significantly affected unless the raw water contains more than about 25% of its exchangeable cations as sodium (or other univalent) ions. In residential softening, residual hardness at these comparatively low levels is not usually required, and quite high flowrates are often in use with negligible effect on the operating capacity. It is worth remembering, however, that the most efficient use of regenerant can be achieved by using high concentrations of salt, and giving adequate contact time. The subsequent displacement of the spent regenerant from the bed should also be slow, but the final removal of excess salt should be carried out at normal service flow rates.

Both the operating capacity and the average leakage of hardness during the run may be calculated for a wide range of conditions. Refer to Figs. 3 through 6.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

The pressure drop (headloss) across a properly classified bed of ion-exchange resin depends on particle size distribution, bed depth, void volume of the exchanger, and on the flowrate and viscosity (and hence on the temperature) of the influent solution. Anything affecting any of these parameters, for example the presence of particulate

matter filtered out by the bed, abnormal compaction of the resin bed, or the incomplete classification of the resin will have an adverse effect, and result in an increased headloss. Typical values of pressure drop across a bed of Purolite C-100 are given for a range of operating flow rates in Fig. 1.

Fig. 1 PRESSURE DROP VS FLOW RATE

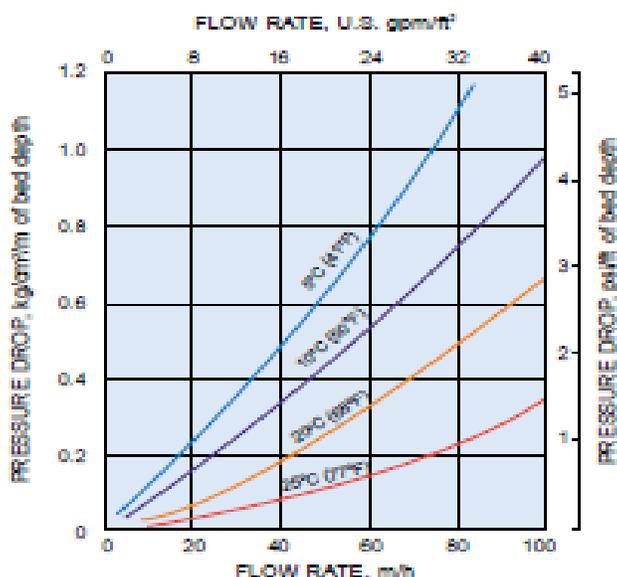
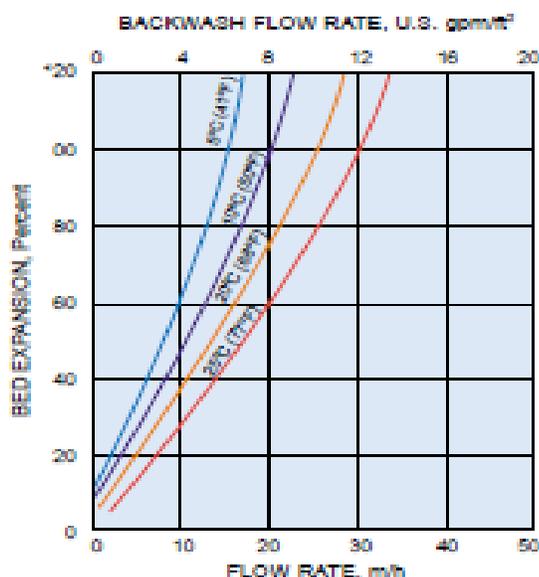


Fig. 2 BACKWASH EXPANSION



During upflow backwash, the resin bed should be expanded in volume by between 50 and 75%. The objective is to remove any particulate matter, to clear the bed of any air pockets or bubbles, and to reclassify the resin particles as much as possible so as to achieve minimum resistance to flow in subsequent operation.

Backwash should be initiated gradually to avoid any initial surge and potential carryover of resin particles. Bed expansion is a function of flow rate and temperature, as shown in Fig. 2. Care should always be taken to avoid loss by accidental over-expansion of the bed.

Conversion of Units	
1 m/h (cubic meters per square meter per hour)	= 0.341 gpm/ft ² = 0.409 U.S. gpm/ft ²
1 kg/cm ² /m (kilograms per square cm per meter of bed)	= 4.33 psi/ft = 1.03 atmos/m = 10 ft H ₂ O/ft

USA: www.puroliteUSA.com

International: www.purolite.com

CHEMICAL AND THERMAL STABILITY

Purolite C-100 is insoluble in dilute or moderately concentrated acids, alkalis, and in all common solvents. However, exposure to significant amounts of free chlorine, "hypochlorite" ions, or other strong oxidizing agents over long periods of time will eventually break down the crosslinking. This will tend to

increase the moisture retention of the resin, decreasing its mechanical strength, as well as generating small amounts of extractable breakdown products. The resin is thermally stable to 150°C (300°F) in the sodium form and to 120°C (250°F) in the hydrogen form.

SOFTENING CAPACITY CALCULATION

If the regeneration level, influent water analysis, and service flowrate are known, the capacity and leakage curves may be used directly to determine the operating

capacity of the resin in the unit and the residual hardness in the treated water. A specific example of the application of these curves is given below:

INFLUENT WATER			
Cation analysis in:	ppm CaCO ₃	meq/l	gr/U.S. gal
Total hardness	400	8	23
Sodium (& univalents)	<u>100</u>	<u>2</u>	<u>2.8</u>
TDS (total dissolved solids)	500	10	28.8
TREATMENT			
Regeneration with: 160 g/l [10 lb/ft ³] of NaCl			
Service Flowrate: 25 m/h [10 U.S. gpm/ft ²]			
Leakage endpoint: 5 ppm above permanent (kinetic) leakage figure.			
CAPACITY is calculated as follows:			
Fig. 3 → Base Operating Capacity, C _B , @ 160 g/l (10 lb/ft ³) NaCl = 1.45 eq/l (31.7 kgm/ft ³)			
Fig. 4 → correction factor, C ₁ for 25 m/h & TDS 500 = 0.96			
Hence calculated Operating Capacity, C _B x C ₁ = 1.39 eq/l (30.4 kgm/ft ³).			
After applying the conventional 90% "design factor" the value of 1.25 eq/l may be quoted as a design operating capacity. This corresponds to a figure of 27.3 kgm/ft ³ (1.25 eq/l x 21.85 kgm/ft ³ per eq/l).			
LEAKAGE is calculated as follows:			
Fig. 5 → Base Leakage @ 160 g/l NaCl [or 10 lb/ft ³] = 2.3 ppm CaCO ₃			
Fig. 6 → correction factor, K ₁ , for a TDS value of 500 = 1.1			
Hence permanent (kinetic) leakage = 2.3 x 1.1 = 2.5 ppm CaCO ₃			
NOTES:			
i) The curves given are in fact based on an endpoint leakage of 5 ppm over and above the observed kinetic leakage; operating capacities will differ somewhat if a different criterion is used.			
ii) The curves given are applicable only to influent monovalent ion contents less than or equal to the hardness content; if the water to be treated is atypical in this or other parameters, please contact your local sales office for assistance.			

USA: www.puroliteUSA.com

International: www.purolite.com

PUROLITE C-100 (SOFTENING)

Fig. 3 OPERATING CAPACITY, C_B

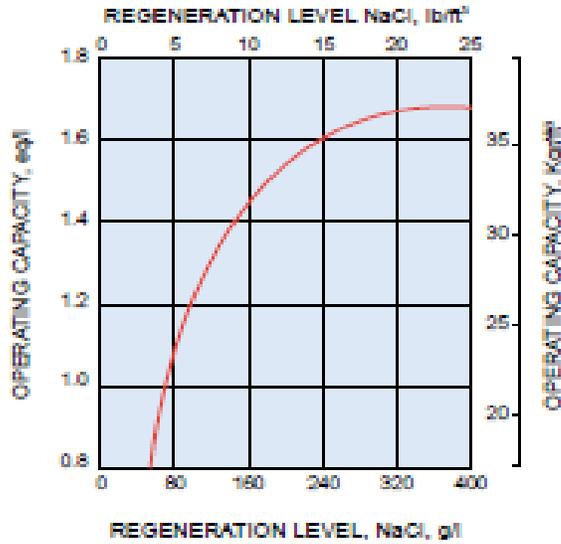


Fig. 4 EFFECT OF FLOW RATE & TDS ON OPERATING CAPACITY

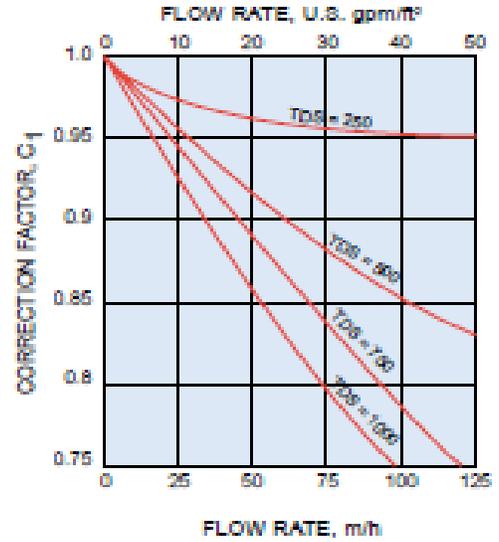


Fig. 5 HARDNESS LEAKAGE

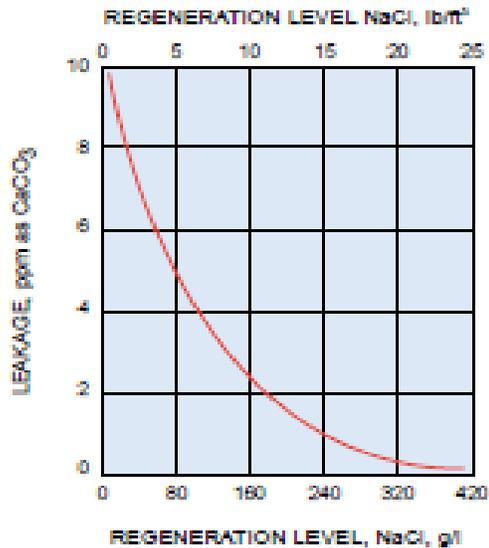
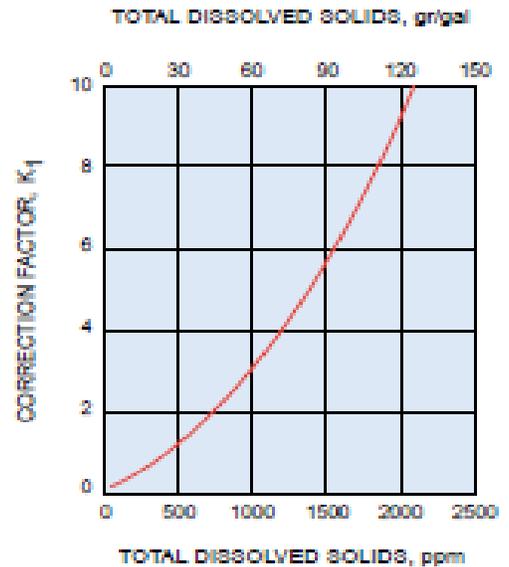


Fig. 8 CORRECTION FOR TDS



USA: www.puroliteUSA.com

International: www.purolite.com

ANEXO F

BOLETÍN TÉCNICO DE TQ-SOFT-ADL



TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.
Profesionales al servicio de la Industria

BOLETIN TECNICO



TQ-SOFT-ADL

PRODUCTO PARA CALDEROS ALIMENTADOS CON AGUA DURA

DESCRIPCION:

TQ-SOFT-ADL es un producto para el tratamiento completo en la prevención de incrustación y corrosión en calderos de vapor alimentados con aguas duras y trabajando bajo presiones de hasta 300 psi. En su composición intervienen precipitantes de dureza, atrapadores de oxígeno, acondicionadores de lodos, inhibidores de corrosión y alcalinizantes reguladores de pH. Se trata, por tanto, de compuestos integrales que contienen todos los componentes requeridos para un tratamiento completo del agua del caldero.

El TQ-SOFT-ADL no contiene ningún tipo de sustancias volátiles que puedan contaminar el vapor, en cambio contribuyen al desprendimiento de incrustaciones antiguas.

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS:

Apariencia:	líquido
Color:	vino
pH (solución al 1%):	11,50 ± 0,50
Gravedad específica:	1,12 ± 0,03
Inflamabilidad:	no inflamable

MODO DE EMPLEO:

El TQ-SOFT-ADL se puede agregar directamente al tanque de alimentación en forma manual o a la línea de descarga de la bomba de alimentación si se usa una bomba dosificadora de químico.

En cualquier caso, el caudal de dosificación guardará relación con el agua de reposición al caldero, en forma tal que la dosis calculada para el día de trabajo se consuma uniformemente durante la jornada.

PRECAUCIONES:

TQ-SOFT-ADL no es especialmente peligroso de manejar ni de alta toxicidad. Si *accidentalmente* se ingiere, hay que tomar una fuerte dosis de jugo de limón o naranja y abundante agua. Si salpicara a los ojos, enjuagar por 10 minutos con abundante agua y acudir al médico.

PRESENTACION:

El TQ-SOFT-ADL se expende en envases de 30, 60 y 220 kg

Rev.17-10-2012
A.F

TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes / (Panam. Norte Km. 6½) / Telfs.: 2800-387 / 2486-684 / 2485-226 / Fax. 2807-445 / Cel.: 099 461-518
Quito - Ecuador / E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec

ANEXO G

COLORURO DE SODIO (SAL EN GRANO)



Sal en grano

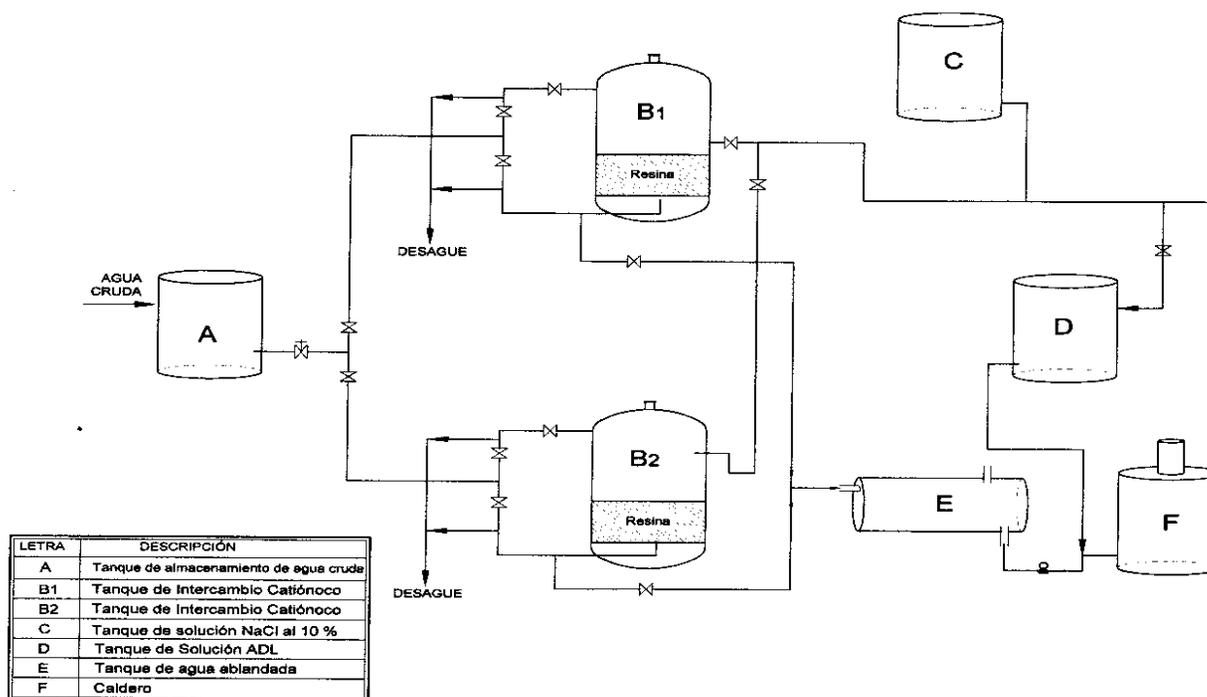
- Doble Lavado.
- Se presenta en forma de grano irregular.
- Comercializada en sacos de 110 libras.
- Este tipo de sal es utilizada en la industria petrolera, curtido de pieles, neveras, flotas pesqueras, fábricas de hielo, calderos, etc.

Composición química

Cloruro de sodio	98,20 %
Magnesio	0,006 %
Humedad	1,95 %
Sulfatos	0,49 %
Calcio	0,048 %
Materiales insolubles	0,506 %

ANEXO H

ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDEROS

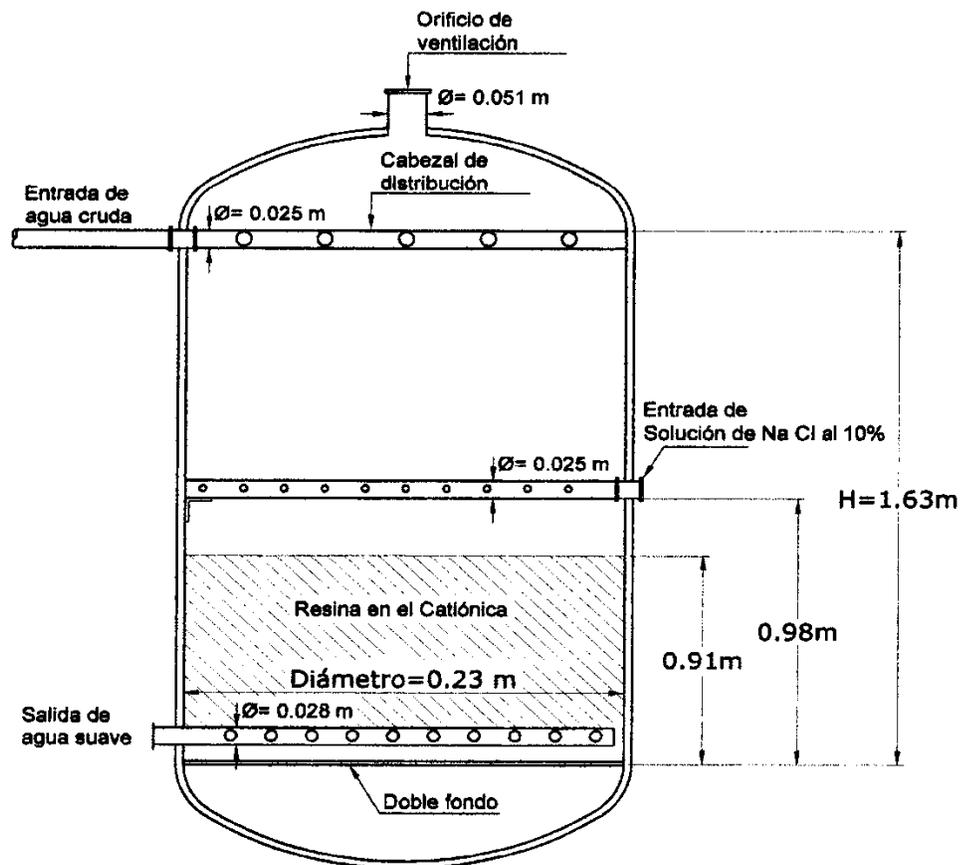


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA C. PÉREZ YAMBAY	Lámina	Escala	Fecha
			01	A4	08/06/2015

ANEXO I

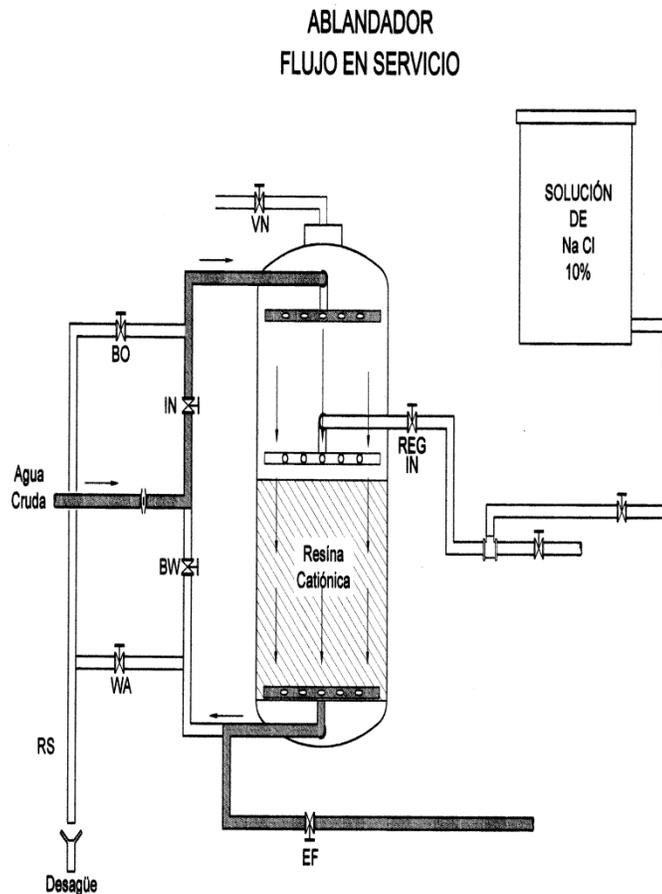
TANQUE ABLANDADOR-INTERCAMBIADOR IÓNICO

ABLANDADOR DE INTERCAMBIO IONICO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA C. PÉREZ YAMBAY	Lám	Esc	Fecha
			ina	ala	
			02	A4	08/06/2015

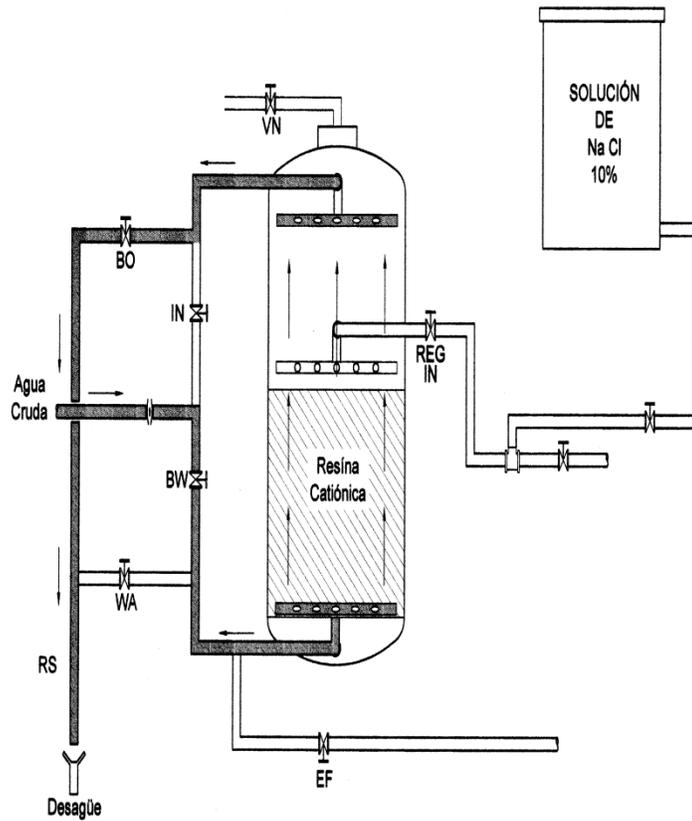
**ANEXO J
ESQUEMA DEL FLUJO DE SERVICIO- AGUA CRUDA**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA C. PÉREZ YAMBAY	Lámina	Escala	Fecha
			03	A4	08/06/2015

**ANEXO K
ESQUEMA DE FASE DE RETOLAVADO.**

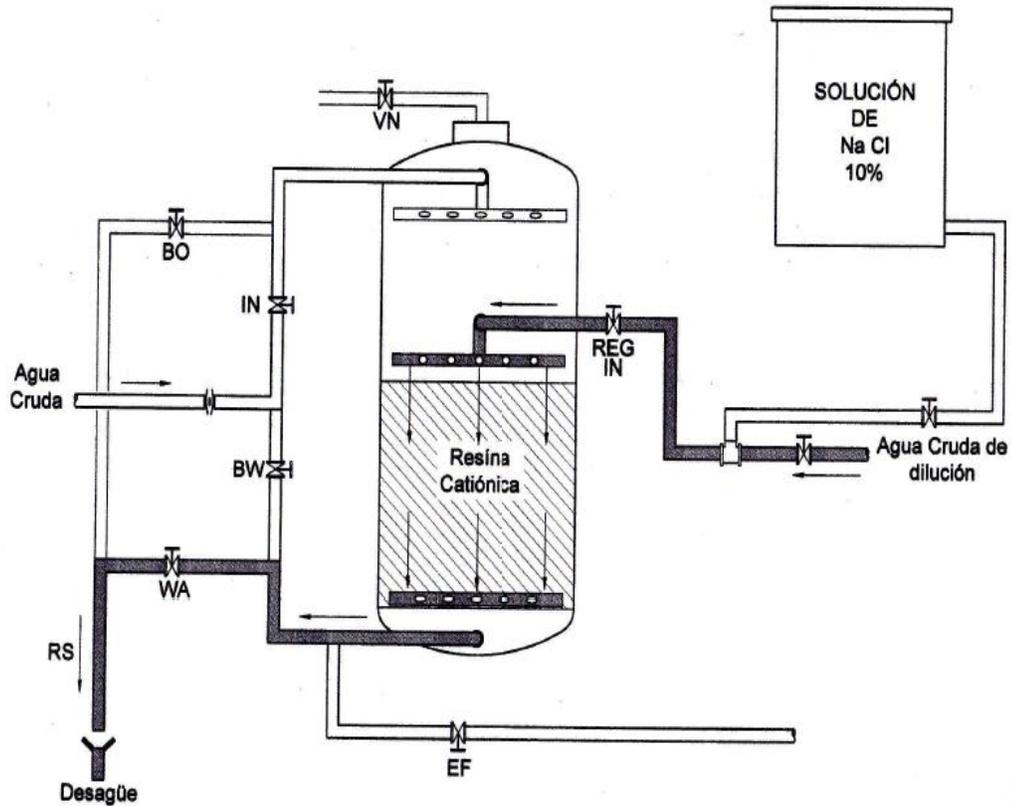
**FASE
RETOLAVADO**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA C. PÉREZ YAMBAY	Lámina	Escala	Fecha
			04	A4	08/06/2015

**ANEXO L
ESQUEMA DE FASE ENGAJUE LENTO**

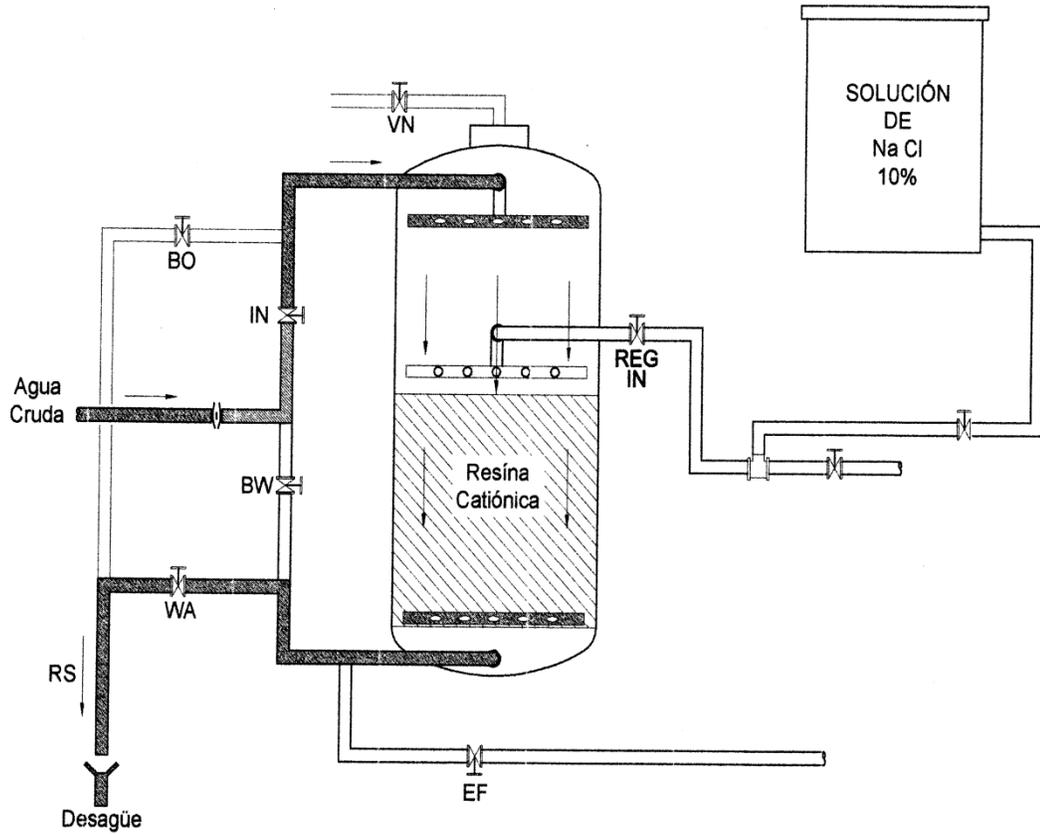
**ENJUAGUE LENTO
DESPLAZAMIENTO FINAL DE SAL**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH						
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA C. PÉREZ YAMBAY	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1029 1640 1154 1671">Lámina</th> <th data-bbox="1159 1640 1268 1671">Escala</th> <th data-bbox="1273 1640 1442 1671">Fecha</th> </tr> </thead> </table>			Lámina	Escala	Fecha
			Lámina	Escala	Fecha			
			05	A4	08/06/2015			

**ANEXO M
ESQUEMA DE FASE ENGAJUE RÁPIDO**

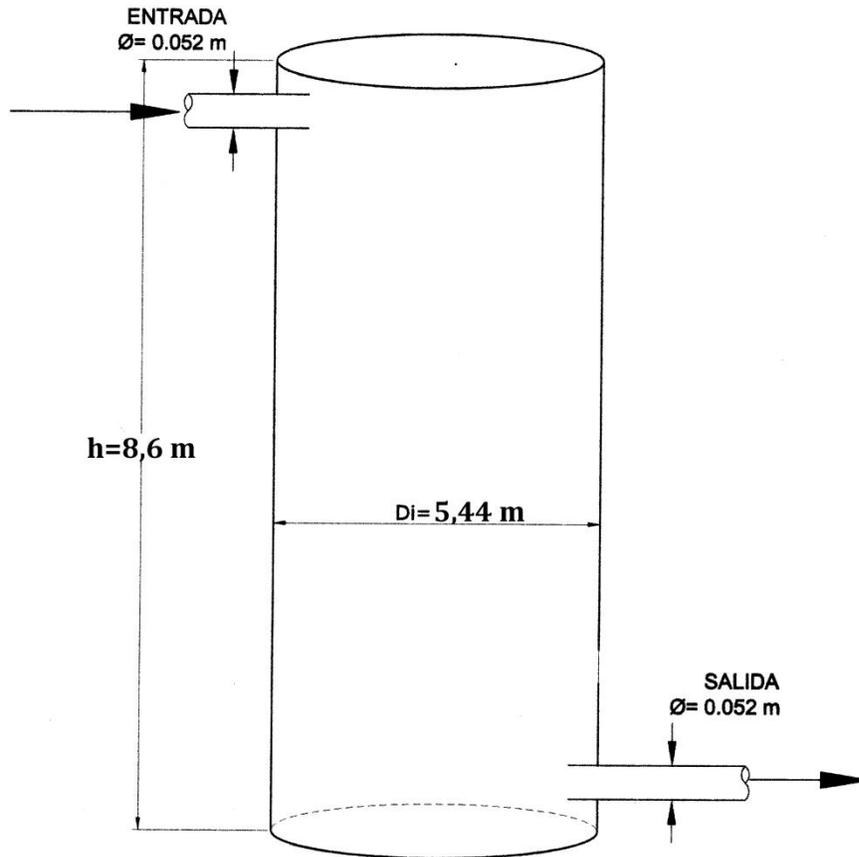
ENJUAGUE RÁPIDO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA PÉREZ YAMBAY C.	Lámina	Escala	Fecha
			06	A4	08/06/2015

ANEXO N
ESQUEMA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA

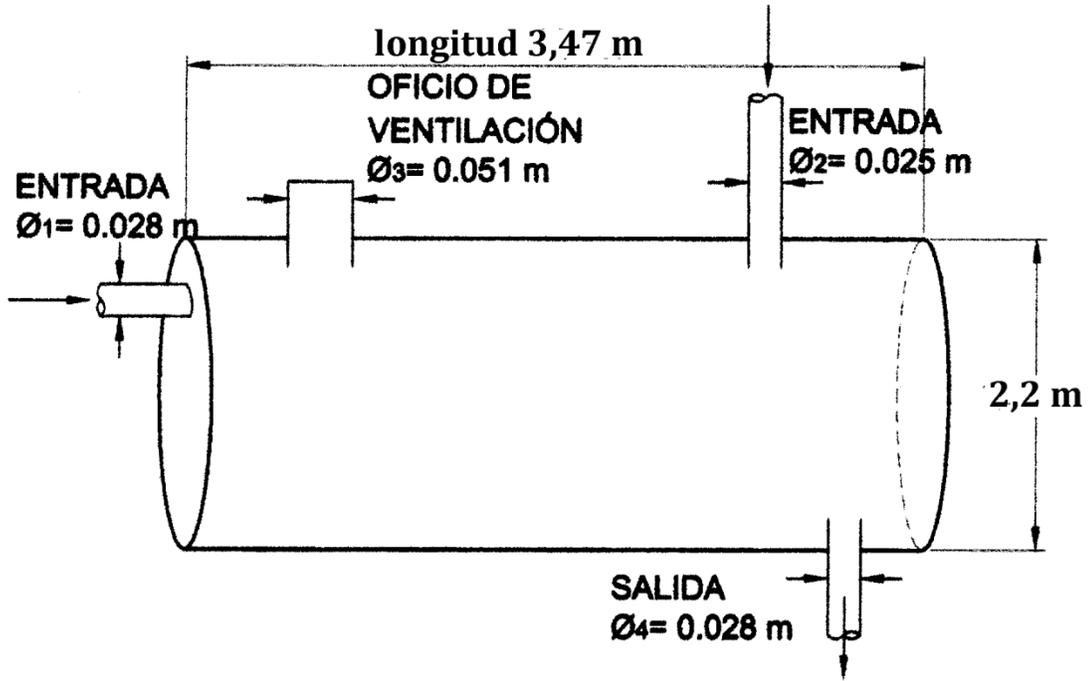
TANQUE DE ALMACENAMIENTO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA PÉREZ C. YAMBAY	Lámina	Escala	Fecha
			07	A4	08/06/2015

ANEXO O
ESQUEMA DEL TANQUE DE AGUA ABLANDADA.

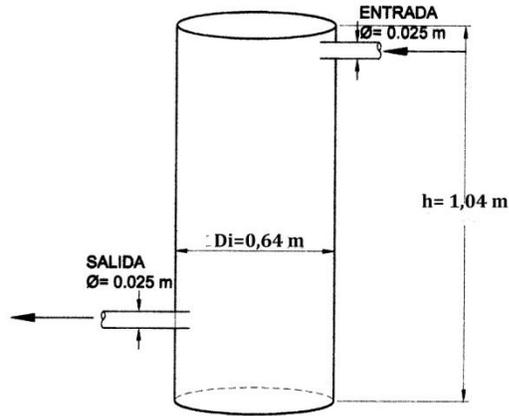
TANQUE DE AGUA ABLANDADA



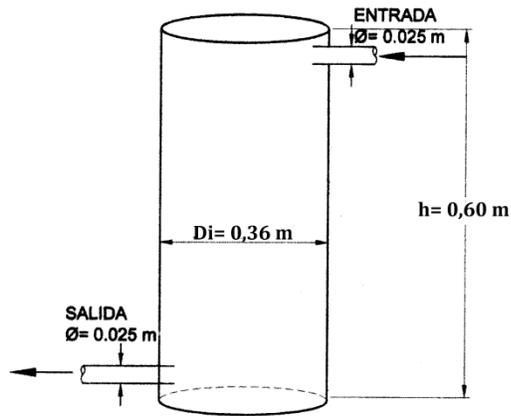
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA JESSICA PÉREZ YAMBAY C.	Lámina	Escala	Fecha
			08	A4	08/06/2015

ANEXO P
ESQUEMA DE LOS TANQUE DE SOLUCIONES

TANQUE DE SOLUCIÓN ADL



TANQUE DE SOLUCIÓN NaCl AL 10%



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
a)	<input type="checkbox"/> Certifica <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Lámina	Escala	Fecha
			09	A4	08/06/2015
		JESSICA PÉREZ YAMBAY C.			

ANEXO Q

PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE CALDEROS

De acuerdo al Código ASME requiere controles redundantes para calderos de vapor y se enuncian a continuación:

1. Cada caldera de calefacción debe tener un manómetro de presión de vapor con una escala graduada a no menos de 2,1 kg/cm² ni a más de 4,2 kg/cm². Las conexiones a la caldera no deben ser de menos de 1/4" (6,35 mm) de diámetro de tubería normal.
2. Cada caldera de vapor debe tener un nivel de agua de vidrio conectado a la caldera. La parte visible del vidrio de nivel de agua debe estar no menos de 1" (25,4 mm) por encima del mínimo nivel permisible de agua estipulado por el fabricante de la caldera.
3. Dos controles de presión se necesitan en las calderas de calefacción de vapor:
 - Un control de corte de presión que corta o cierra el suministro de combustible cuando se alcanza la presión de trabajo deseada.
 - Un control de límite de presión que corte o cierre el combustible cuando el control de presión de trabajo no funcione.

El código ASME de calderas de calefacción requiere algunos dispositivos protectores mínimos en los sistemas de calefacción:

- Un manómetro o medidor de altura de columna de agua, con una escala y dial graduada a no menos 1,5 veces (y no más de tres veces) la presión a la que está tarada la válvula de seguridad.
- Un termómetro o dial (circular, lineal, o de capilla) se necesita en la caldera de agua caliente que esté conectado y localizado de modo que pueda leerse cuando la presión o altura del agua de la caldera sea efectiva. La graduación del termómetro debe estar en centímetros y debe situarse de modo que la temperatura del agua de la caldera se puede mirar o cerca de la salida del agua caliente.

- Debe existir una provisión de llama piloto, y principal, así como ciclos de encendido, post encendido y barrido por purga.

Nota: El barrido se refiere a la eliminación del hogar de todos los calentadores gases o líquidos mediante ciclos de barrido o soplado por aire, de modo que se impida la explosión por acumulación de los mismos al intentar un nuevo encendido. En el encendido manual el operador debe controlar si han quedado restos de combustibles y eliminarlos previamente.

- Se observa que la caldera arranco con un rebose de agua se deberá cortar la línea del agua o drenarse hasta el nivel adecuado. Si el nivel no baja es un indicativo de: pérdida en tubos, o mal funcionamiento del controlador de nivel, y la caldera deberá ponerse en seguridad hasta que puedan efectuarse las reparaciones necesarias.
- Cuando el nivel del agua es bajo se cortará la línea de combustible para evitar recalentamientos.
- Se debe revisar por lo menos una vez al día y cada turno el corte de combustible por bajo nivel de agua.
- Las aberturas de aire en la sala de calderas deben mantenerse limpias y libres de toda obstrucción que pueda estropear o impedir el flujo de aire dentro de la sala ya que puede afectar en el proceso de combustión y en la salud dl operador por la producción de alta demanda de monóxido de carbono.
- Se debe mantener libres de sedimentos y suciedades esto logrará realizando una purga diaria.
- No se debe drenar o descargar mientras el hogar y pasos de humos están calientes, para así evitar el recocado de lodos sobre tubos u otras superficies calefactoras y no se produzcan dilataciones o contracciones.
- Se deberá reparar las fugas de vapor en un sistema de caldera tan pronto como sea posible para evitar roturas mayores y también para evitar daños físicos a las personas, también debido a que aumenta el gasto de combustible ocasionando pérdidas.

OBSERVACIONES DE LAS REGLAS DE SEGURIDAD DE CALDERAS

Las reglas que siguen son recordatorios breves de las posibles consecuencias en una planta de calderas de las respuestas inadecuadas del operador o acciones cuestionables en el mantenimiento de una planta de calderas. En todo los casos, siga las reglas de seguridad orales o escritas de su empleador, jurisdicción y las regulaciones federales de seguridad OSHA para evitar posibles acciones disciplinarias. Adicionalmente, estudie las líneas maestras de seguridad del fabricante de su caldera.

NUNCA	SIEMPRE
Evite anticipar emergencias. No espere hasta que algo suceda para empezara pensar.	Estudie cada emergencia concebible y sepa exactamente lo que hay q hacer.
Empiece el trabajo en una planta sin trazar cada línea de tubería y aprender la situación y el objetivo de cada válvula. Conozca su oficio.	Proceda con las válvulas o dispositivos rápidamente pero sin confusión en tiempo de emergencia.
Permita que los sedimentos se acumulen en las conexiones de los niveles de vidrio o de las columnas de agua.	PURGUE cada conexión de nivel y/o de columna de agua por lo menos una vez al día.
De órdenes verbales para operaciones de importancia o de no llevar un registro escrito.	Acompañe las órdenes de operación de importancia con un memorándum escrito. Use un libro de registros.
Encienda fuego bajo una caldera sin hacer una doble comprobación en el nivel del agua.	Tenga al menos un nivel de agua antes de encender.
Encienda fuego debajo de una caldera sin comprobar todas las válvulas.	Asegúrese que las válvulas de purga están cerradas y los venteos, válvulas de las columnas de agua y grifos de los manómetros estén abiertas.
Abra una válvula bajo presión rápidamente. Puede ocasionar golpe de ariete provocando	Utilice el bypass si lo hay. Despegue la válvula de su asiento y espere a que la

ruptura de las tuberías.	presión se iguale. Después abra lentamente.
Nunca corte o saque de línea a una caldera a no ser que la presión esté dentro del rango del colector. Someter a una caldera a las tensiones de presión repentinamente es peligroso.	Vigile el manómetro de cerca y esté preparado para contar las calderas abriendo la apertura de la válvula de corte solo cuando las presiones estén igualadas.
Nunca suba una caldera a su presión sin comprobar la válvula de seguridad.	Despegue la válvula de su asiento manualmente con su palanca y mientras la caldera está a $\frac{3}{4}$ de la presión de despegue.
Nunca de por seguro que las válvulas de seguridad están en buenas condiciones. No hay lugar para conjeturas.	Suba periódicamente y despegue la válvula de su asiento con la palanca de elevación mientras la caldera este a presión. Pruebe a subir la presión de despegue por lo menos una vez al año.
No aumente la presión de consigna de una válvula sin autorización.	Consulte a un inspector de calderas autorizado y acepte recomendaciones antes de aumentar el ajuste de presión de la válvula de seguridad
Nunca cambie el ajuste de una válvula de seguridad más del 10 por 100. El funcionamiento depende de un muelle adecuado.	Tenga las válvulas conectadas, con un resorte nuevo y recalibrado por el fabricante para cambios de no más del 10 por 100.
Nunca apriete una tuerca, tornillo o rosca de tubo bajo presión de vapor o aire comprimido. Muchos han muerto.	Juéguese sobre seguro con esta regla.
Nunca golpe un sometido a presión de vapor o de aire comprimido. Camino directo al cementerio.	Juéguese sobre seguro con esta regla.
Nunca permita a personas no autorizadas tocar lo que no deben en un equipo de una planta de vapor.	Coloque para la operación de la planta personas adecuadas y capacitadas.

<p>Nunca deje una válvula de purga abierta y desatendida cuando una caldera está bajo presión o con el quemador en marcha.</p>	<p>Compruebe el nivel del agua antes de purgar y tenga una segunda persona vigilando el nivel del agua mientras usted purga la caldera. Cierre la válvula de purga y después vuelva a comprobar el nivel del agua. De este modo usted evitara quemar la caldera por falta de agua.</p>
<p>Nunca permita que una persona entre en el calderín de una caldera sin seguir las normas de seguridad OSHA para entrar en espacios confinados.</p>	<p>Siempre asegúrese de la que la caldera esté fría antes de entrar en ella, de que hay suficiente oxígeno de acuerdo a las normas OSHA, de que tenga un cartel de aviso de entrada que diga “trabajador dentro” de que exista una persona de emergencia a la entrada y cerciorándose de que todas las válvulas de entrada y salida estén cerradas.</p>
<p>Nunca permita reparaciones importantes en la caldera sin autorización.</p>	<p>Consulte a un inspector autorizado antes de efectuar una reparación.</p>
<p>Nunca intente encender un quemador sin ventilar el hogar y el resto de los conductos de la caldera</p>	<p>Siga la secuencia de arranque según el fabricante.</p>
<p>Nunca se equivoque al informar un comportamiento inusual de la caldera o de otros equipos puede ser una señal de peligro.</p>	<p>Pregunte al personal autorizado y capacitado.</p>