



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**DISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO DEL SISTEMA DE
ABLANDAMIENTO DEL AGUA USADA EN EL SELLO DEL EJE DE
LAS TURBINAS DE LA CENTRAL SAN FRANCISCO UNHAG
CELEC-EP**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: VALERIA ALEJANDRA REINOSO BERMEO

TUTOR: DR. GERARDO LEÓN

Riobamba - Ecuador

2016

©2016, Valeria Alejandra Reinoso Bermeo

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: DISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA USADA EN EL SELLO DEL EJE DE LAS TURBINAS DE LA CENTRAL SAN FRANCISCO UNHAG CELEC-EP, de responsabilidad de la señorita Valeria Alejandra Reinoso Bermeo, ha sido minuciosamente revisado por el Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Fecha

Firma

Dr. Gerardo León

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dra. Cumandá Carrera

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo VALERIA ALEJANDRA REINOSO BERMEO soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en la Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Valeria Alejandra Reinoso Bermeo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Valeria Alejandra Reinoso Bermeo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 28 Marzo de 2016

Valeria Alejandra Reinoso Bermeo

0604078790

DEDICATORIA

Un pequeño peldaño, pero a la vez un importante y gran logro personal al fin alcanzado se lo dedico especialmente a mi mami Susana, por su amor incondicional y entrega total. A mi papi Oswaldo por ser mi pilar, el que me impulsa a ser mejor cada día.

Se lo dedico también a la persona que es mi motivo de superación, mi querida sobrina Yajaira, y mi hermana Evelyn quien ha sido mi guía y ejemplo a seguir.

Valeria Alejandra

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios y a la Virgen María Auxiliadora, son mi guía y refugio en todo momento, gracias a las bendiciones que me han otorgado logré culminar esta importante etapa de mi vida.

A mi familia, gracias por confiar en mí y apoyarme para cumplir tan anhelada meta personal, su ejemplo de superación me hizo vencer los obstáculos que se me presentaron a lo largo de mi vida.

Expreso mi sincero agradecimiento, al Gerente de la Unidad de Negocio Hidroagoyán CELEC-EP, el Ing. Mauricio Caicedo por permitirme desarrollar el Trabajo de Titulación en la institución donde cumple tan prestigiosa función, al igual que su equipo de trabajo, que con su experiencia supieron brindarme asesoría.

Además quiero agradecer a mi Director de Tesis y Miembro del Tribunal, por haber compartido su valioso conocimiento, al igual que el tiempo y la atención prestada. Gracias a mis profesores de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo semillero del conocimiento.

Como no agradecer a mis amigas, que de una u otra forma estuvieron a mi lado, gracias a su apoyo incondicional hoy alcanzo un importante logro profesional. En fin, gracias a cada una de las personas que influenciaron en mi vida y me impulsaron a ser profesional.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pag. |
|---|-----------|
| INDICE DE TABLAS..... | xii |
| INDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| INDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS | ix |
| RESUMEN | xii |
| SUMARY | xiii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I | |
| 1. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 1.1. Agua..... | 7 |
| 1.2. Agua para uso industrial | 8 |
| 1.3. Impurezas del agua..... | 9 |
| 1.3.1. <i>Clasificación de las impurezas del agua.....</i> | <i>9</i> |
| 1.4. Características fisicoquímicas del agua industrial | 10 |
| 1.4.1. <i>Temperatura.....</i> | <i>10</i> |
| 1.4.2. <i>Potencial de hidrógeno (pH).....</i> | <i>10</i> |
| 1.4.3. <i>Conductividad eléctrica.....</i> | <i>10</i> |
| 1.4.4. <i>Turbidez</i> | <i>11</i> |
| 1.4.5. <i>Alcalinidad</i> | <i>11</i> |
| 1.4.6. <i>Dureza Total.....</i> | <i>12</i> |
| 1.5. Índice de Langelier | 14 |
| 1.6. Tratamiento de Aguas Industriales | 14 |
| 1.6.1. <i>Métodos de Tratamiento</i> | <i>15</i> |
| 1.6.1.1. <i>Tratamientos externos.....</i> | <i>16</i> |
| 1.6.1.2. <i>Tratamientos internos</i> | <i>16</i> |
| 1.7. Filtrado | 16 |
| 1.8. Ablandamiento..... | 17 |
| 1.8.1. <i>Ablandamiento con Cal-soda.....</i> | <i>17</i> |
| 1.8.2. <i>Ablandamiento por intercambio iónico</i> | <i>18</i> |
| 1.9. Resinas de intercambio iónico..... | 19 |
| 1.9.1. <i>Clasificación de las resinas.....</i> | <i>20</i> |

| | | |
|------------------------|---|----|
| 1.9.1.1. | <i>Según su estructura de red</i> | 20 |
| 1.9.1.1.1. | <i>Resina Microporosas</i> | 20 |
| 1.9.1.1.2. | <i>Resina Macroporosas</i> | 20 |
| 1.9.1.1.3. | <i>Resina Isoporosas</i> | 20 |
| 1.9.1.2. | <i>Según su grupo funcional</i> | 20 |
| 1.9.1.2.1. | <i>Resina catiónica de ácido fuerte</i> | 21 |
| 1.9.1.2.2. | <i>Resina catiónica de ácido débil</i> | 22 |
| 1.9.1.2.3. | <i>Resina aniónica de base fuerte</i> | 23 |
| 1.9.1.2.4. | <i>Resina aniónica de base débil</i> | 23 |
| 1.9.2. | <i>Selectividad de las resinas</i> | 24 |
| 1.10. | Resina Purolite C 100 | 25 |
| 1.11. | Intercambio iónico en Columna | 26 |
| 1.11.1. | <i>Etapas del Proceso de Intercambio Iónico en Columna.</i> | 27 |
| 1.11.1.1. | <i>Etapa de Servicio</i> | 27 |
| 1.11.1.2. | <i>Etapa de Retrolavado</i> | 28 |
| 1.11.1.3. | <i>Etapa de Regeneración de Resina</i> | 28 |
| 1.11.1.3.1. | <i>Regeneración co-corriente</i> | 29 |
| 1.11.1.3.2. | <i>Regeneración contra-corriente</i> | 29 |
| 1.11.1.4. | <i>Etapa de Enjuague lento</i> | 30 |
| 1.11.1.5. | <i>Etapa de Enjuague rápido</i> | 30 |
| 1.11.1.6. | <i>Etapa de Llenado del tanque de Salmuera</i> | 31 |
| 1.11.2. | <i>Parámetros de Diseño de Intercambio Iónico en columna</i> | 31 |
| 1.11.2.1. | <i>Curva de ruptura</i> | 31 |
| 1.11.2.2. | <i>Capacidad de intercambio iónico</i> | 32 |
| 1.11.2.3. | <i>Fracción de Lecho Utilizado</i> | 33 |
| 1.11.2.4. | <i>Eficiencia química de regeneración</i> | 34 |
| 1.11.2.5. | <i>Capacidad de trabajo</i> | 34 |
| 1.11.2.6. | <i>Expansión de la resina</i> | 34 |
| 1.12. | Evaluación del Impacto Ambiental | 35 |
| 1.12.1. | <i>Matriz de Leopold</i> | 35 |
| CAPÍTULO II | | |
| 2. | MARCO METODOLÓGICO | 36 |
| 2.1. | Muestreo | 36 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.2. | Caracterización del agua | 37 |
| 2.3. | Índice de Langelier | 38 |
| 2.4. | Método para el Tratamiento de Agua | 40 |
| 2.5. | Cálculos | 41 |
| 2.5.1. | <i>Volumen de resina (Vr)</i> | 41 |
| 2.5.2. | <i>Tiempo de ruptura catiónica (Tr)</i> | 42 |
| 2.5.3. | <i>Iones calcio y magnesio retenidos</i> | 42 |
| 2.5.4. | <i>Capacidad de Intercambio Catiónico (CI)</i> | 42 |
| 2.6. | Diseño del sistema de ablandamiento. | 43 |
| 2.6.1. | <i>Iones calcio y magnesio a reducir por ciclo</i> | 43 |
| 2.6.2. | <i>Volumen de resina catiónica (Vrc)</i> | 43 |
| 2.6.3. | <i>Volumen de columna (Vc)</i> | 44 |
| 2.6.4. | <i>Área de la columna (Ac)</i> | 44 |
| 2.6.5. | <i>Altura de la columna (Hc)</i> | 44 |
| 2.7. | Cálculo de pérdidas en las tuberías | 45 |
| 2.7.1. | <i>Pérdidas Primarias (hf)</i> | 45 |
| 2.7.2. | <i>Pérdidas Secundarias (hm)</i> | 46 |
| 2.7.3. | <i>Pérdida Total (ht)</i> | 47 |

CAPÍTULO III

| | | |
|--------|--|----|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 48 |
| 3.1. | Caracterización del agua | 48 |
| 3.2. | Índice de Langelier | 52 |
| 3.3. | Tratamiento de Agua por intercambio iónico..... | 53 |
| 3.4. | Cálculos | 65 |
| 3.4.1. | <i>Volumen de resina (Vr)</i> | 65 |
| 3.4.2. | <i>Tiempo de ruptura catiónica (Tr)</i> | 66 |
| 3.4.3. | <i>Iones Calcio y Magnesio retenidos</i> | 66 |
| 3.4.4. | <i>Capacidad de intercambio catiónico</i> | 66 |
| 3.5. | Diseño del sistema de ablandamiento | 67 |
| 3.5.1. | <i>Iones calcio y magnesio a reducir por ciclo</i> | 70 |
| 3.5.2. | <i>Volumen de la resina catiónica (Vrc)</i> | 70 |
| 3.5.3. | <i>Volumen de la columna (Vc)</i> | 71 |
| 3.5.4. | <i>Área de la columna</i> | 71 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.5.5. | <i>Altura de la columna</i> | 71 |
| 3.6. | Cálculo de pérdidas en las tuberías | 73 |
| 3.6.1. | <i>Pérdidas Primarias (hf)</i> | 74 |
| 3.6.2. | <i>Pérdidas Secundarias (hm)</i> | 75 |
| 3.6.3. | <i>Pérdida Total (ht)</i> | 76 |
| 3.7. | Selección de equipos | 77 |
| 3.8. | Costos de implementación. | 80 |
| 3.9. | Evaluación de Impactos Matriz de Leopold | 81 |
| | CONCLUSIONES | 84 |
| | RECOMENDACIONES | 85 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

| | Pag. |
|---|-------------|
| Tabla 1-1 Niveles de Alcalinidad..... | 12 |
| Tabla 2-1 Clasificación del agua según la Dureza | 13 |
| Tabla 3-1 Principales propiedades de la Resina Purolite C 100 | 26 |
| Tabla 1-2 Caracterización del agua..... | 38 |
| Tabla 2-2 Tabla de Valores para el cálculo del LSI..... | 39 |
| Tabla 1-3 Caracterización del Agua – Análisis Físico..... | 48 |
| Tabla 2-3 Caracterización del Agua – Análisis Químico | 48 |
| Tabla 3-3 Valores promedio de la caracterización fisicoquímica del agua previo el tratamiento. | 52 |
| Tabla 4-3 Resultados de los análisis químicos del agua después del tratamiento con 25g de resina catiónica Purolite C 100..... | 56 |
| Tabla 5-3 Resultados de los análisis químicos del agua después del tratamiento con 15g de resina catiónica Purolite C 100..... | 60 |
| Tabla 6-3 Concentraciones iniciales y finales de los cationes..... | 65 |
| Tabla 7-3 Resultados obtenidos del tratamiento por intercambio iónico en el laboratorio..... | 67 |
| Tabla 8-3 Datos para el diseño del sistema de ablandamiento del agua de sellos en la Central San Francisco..... | 72 |
| Tabla 9-3 Datos para el cálculo de pérdidas en las tuberías..... | 73 |
| Tabla 10-3 Listado de accesorios para el sistema de ablandamiento..... | 76 |
| Tabla 11-3 Costeo de la implementación del sistema de ablandamiento..... | 80 |
| Tabla 12-3 Comparación condiciones iniciales y finales | 81 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pag. |
|---|-------------|
| Figura 1-1 Resina Catiónica de ácido fuerte..... | 21 |
| Figura 2-1 Resina Catiónica de ácido débil..... | 22 |
| Figura 3-1 Resina Aniónica de base fuerte | 23 |
| Figura 4-1 Resina Aniónica de base débil | 24 |
| Figura 5-1 Resina Catiónica | 25 |
| Figura 6-1 Proceso de intercambio iónico con resina | 26 |
| Figura 7-1 Etapa de Servicio | 27 |
| Figura 8-1 Etapa de Retrolavado..... | 28 |
| Figura 9-1 Etapa de Regeneración | 29 |
| Figura 10-1 Etapa de Enjuague Lento | 30 |
| Figura 11-1 Concentración del efluente – tiempo..... | 31 |
| Figura 12-1 Capacidad de Intercambio de la resina..... | 32 |
| Figura 13-1 Cantidad de soluto retenido | 33 |
| Figura 1-3 Concentraciones de Dureza total, Dureza Cálcica y Dureza Magnésica previo el tratamiento del agua | 49 |
| Figura 2-3 Concentraciones de Dureza total previo el tratamiento del agua y Valor recomendado por el fabricante (VRF). | 50 |
| Figura 3-3 Tratamiento del agua por intercambio iónico con resina Purolite C 100 en el laboratorio. 55 | |
| Figura 4-3 Concentración de Dureza Total durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100 | 57 |
| Figura 5-3 Concentración de Dureza Cálcica durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100 | 57 |
| Figura 6-3 Concentración de Dureza Magnésica durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100..... | 58 |
| Figura 7-3 Concentración de Alcalinidad durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100 | 58 |
| Figura 8-3 Concentración de Dureza Total en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100..... | 61 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 9-3 | Ruptura de Dureza total, Dureza cálcica y Dureza magnésica durante el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100 | 62 |
| Figura 10-3 | Concentración de Dureza Cálcica en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100..... | 63 |
| Figura 11-3 | Concentración de Dureza Magnésica en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100 | 63 |
| Figura 12-3 | Concentración de Alcalinidad en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100..... | 64 |
| Figura 13-3 | Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de ablandamiento del agua de sellos de la Central San Francisco | 69 |
| Figura 14-3 | Filtros The Culligan Side Mount (CSM™) Series. Heavy-duty water filter System. | 78 |
| Figura 15-3 | Ablandadores The Culligan Side Mount (CSM™) Series. Water Softener System..... | 79 |
| Figura 16-3 | Matriz de Leopold para la implementación del Sistema de ablandamiento para el agua de sellos de la Central San Francisco. | 83 |

INDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| g | Gramos |
| mg | Miligramos |
| Kg | Kilogramos |
| L | Litros |
| mL | Mililitros |
| m | Metros |
| m² | Metros cuadrados |
| m³ | Metros cúbicos |
| ft³ | Pies cúbicos |
| h | Hora |
| min | Minuto |
| s | Segundo |
| ppm | Partes por millón |
| meq | miliequivalente |
| °C | Grados centígrados |
| NTU | Unidades nefelométricas de turbidez |
| μs/cm | Microsiemens por centímetro |
| bar | bares de presión |
| Pa.s | Pascal segundo |
| N | Newton |
| Ec. | Ecuación |

| | |
|------------|---------------------------------------|
| No. | Número |
| LSI | Índice de Langelier |
| TF | Factor temperatura |
| HF | Factor dureza |
| AF | Factor alcalinidad |
| Vr | Volumen resina |
| Vo | Volumen inicial |
| Vf | Volumen final |
| Tr | Tiempo de ruptura |
| Q | Caudal |
| Qt | Caudal del tratamiento |
| Co | Concentración inicial de dureza total |
| Cf | Concentración final de cationes |
| Ci | Capacidad de intercambio catiónico |
| Vrc | Volumen resina catiónica |
| Vc | Volumen columna |
| Ac | Área de la columna |
| Hc | Altura de la columna |
| VRF | Valor recomendado por el fabricante |
| hf | Pérdidas primarias |
| hm | Pérdidas secundarias |
| ht | Pérdidas totales |
| L | Longitud de la tubería |

| | |
|------------------------------|---|
| V | Velocidad |
| K | Constante de accesorios |
| g | Gravedad |
| “ | Pulgada |
| λ | Coefficiente de pérdidas por fricción |
| μ | Viscosidad dinámica |
| ϵ | Coefficiente de rugosidad absoluta de la tubería |
| Φ_i | Diámetro interno |
| ρ | Densidad del agua |
| UNHAG | Unidad de Negocio Hydroagoyán |
| CELEC-EP | Corporación Eléctrica del Ecuador Empresa Pública |

RESUMEN

La investigación sobre el diseño a escala de laboratorio del sistema de ablandamiento para el agua usada en el sello del eje de las turbinas de la central San Francisco UNHAG CELEC-EP, desarrollada en la ciudad de Riobamba en el Laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas, se estableció con el fin de simular el proceso de desmineralización por intercambio iónico, disminuyendo la dureza total del agua de sellos mediante la sustitución de los iones Calcio y Magnesio con iones Sodio, aplicando un lecho de resina catiónica Purolite C 100 en columna. Se aplicó una metodología analítica para la caracterización fisicoquímica del agua, donde la dureza total, cálcica, magnésica, alcalinidad, pH, conductividad, temperatura y turbidez fueron los parámetros determinados, mediante los análisis químicos se obtuvo un valor de dureza total promedio de 192 mg/L de Carbonato de Calcio, la cual triplica el valor recomendado de 60 mg/L. Empleando el principio de una investigación dogmática, se realizaron cuatro pruebas de laboratorio con 25 y 15 gramos de resina con el fin de comprobar la efectividad del proceso, con el tratamiento se logró disminuir la dureza total del agua de sellos a un valor de 52 mg/L, haciéndola apta para su uso industrial. Mediante los ensayos de laboratorio se logró establecer experimentalmente la CI iónico de resina catiónica Purolite C 100 obteniendo un valor de 0,9 meq/mL de resina, con lo cual se llegó a la conclusión que para la reducción de la dureza del agua de sellos mediante intercambio iónico es necesario un volumen de 20 ft³ de resina catiónica, dispuesta en dos ablandadores que funcionen en paralelo, consideración que se debe tomar en cuenta para seleccionar los equipos que intervendrían en el sistema de ablandamiento del agua a escala industrial. Se recomienda un pretratamiento de filtrado para el agua y la regeneración de la resina catiónica con una solución de salmuera a contra corriente, con el fin de optimizar el volumen de la solución regenerante.

PALABRAS CLAVE: <AGUA DE SELLOS> <CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA> <DUREZA TOTAL DEL AGUA> <ABLANDAMIENTO> <INTERCAMBIO IÓNICO> <RESINA CATIÓNICA> <TRATAMIENTO EN COLUMNA> <PRUEBAS DE LABORATORIO>

SUMMARY

The research is about the scale design of the water softening System used for the sealing on the shaft turbine of UNHAG CELEC-EP San Francisco Central. This research was carried out in Riobamba at Water Technical Analysis Laboratory; it was established in order to simulate the ionic-interchange demineralization process to decrease the total hardness of the seal water through the substitution of calcium and magnesium ions and the application of a column C 100 Purolite cation resin. For the physical-chemical characterization of water it was necessary to apply the analytical methodology where the total calcium and magnesium hardness, alkalinity, pH, conductivity, temperature and turbidity were the parameters determined. Through the chemical analysis a total hardness average value of 192 mg/L Calcium Carbonate was obtained, this triplicates the recommended value of 60 mg/L. Applying the dogmatic principle of a research, four laboratory test with 25 and 15 resin grams were carried out in order to prove the effectiveness of the process, with the use of the treatment, it was possible to decrease the total hardness of seal water to 52 mg/L, this makes it appropriate for the industrial use. Through laboratory tests, it was possible to establish the ionic CI of the C 100 Purolite cationic resin in an experimental way, therefore a value of 0.9 meq/mL resin was obtained. It was concluded that for reducing the hardness of seal water through the ionic exchange it is necessary a 20 ft³ of cationic resin set into two softeners which work in a parallel way, this must be taken into account for selecting the equipment which will be part of the water softening system at an industrial level. It is recommended to carry out a filtering pre-treatment of water as well as the regeneration of the cationic resin with a counter flow brine solution in order to optimize the volume of the regenerative solution.

KEY WORDS: <SEAL WATER> <PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF WATER> <TOTAL WATER HARDNESS> <SORFTENING> <IONIC INTERCHANGE> <CATIONIC RESIN> <COLUMN TREATMENT> <LABORATORY TESTS>

INTRODUCCIÓN

El agua además de ser el líquido vital para los seres vivos, es aprovechada hace décadas por la humanidad en el sector industrial, para el beneficio común de la sociedad a través de procesos productivos, los mismos que con el paso del tiempo han sido estudiados y optimizados gracias a la investigación científica y a los avances tecnológicos.

Con el paso del tiempo se ha ido identificando la importancia que tiene la energía eléctrica para el progreso económico y social de una región, en los últimos años se ha experimentado una creciente demanda en el sector eléctrico, lo que conlleva a la construcción de procesos de generación eléctrica haciendo de esta actividad un sector estratégico en el país.

El Ecuador ha venido desarrollando un reto ambicioso denominado el cambio de la matriz productiva, el cual apoya la investigación, desarrollo e inversión en energías renovables, las mismas que usan recursos teóricamente inagotables; la energía hidráulica está dentro de las energías limpias, es decir garantizan el cuidado del medio ambiente al sustituir la obtención de energía eléctrica por combustible fósiles.

La electricidad en el Ecuador en su mayoría proviene de fuentes hidroeléctricas, las cuales transforman la energía hidráulica que posee una corriente de agua, en energía eléctrica mediante un conjunto de operaciones mecánicas, equipos y sistemas, que garantizan el uso eficiente y el adecuado aprovechamiento del recurso agua; así también, se la usa en estas instalaciones para procesos específicos como el sistema de agua de enfriamiento y agua de sello que son sistemas auxiliares para la producción de energía eléctrica.

En el país la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC-EP es la responsable de la generación y transmisión de energía eléctrica, tiene a cargo trece unidades de negocio distribuidas a lo largo de la región ecuatoriana, para el abastecimiento de energía eléctrica al país por medio del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. CELEC-EP tiene como principal actividad el apoyo y participación en procesos investigativos relacionados con el objeto primordial, que es la generación de energía eléctrica para cubrir la demanda que el país tiene.

En la región central del Ecuador, en la Provincia de Tungurahua, Municipio de Baños de Agua Santa entre la cuenca media y baja del Rio Pastaza se encuentra la Central Hidroeléctrica San Francisco, una de las tres centrales a cargo de la Unidad de Negocio Hidroagoyán (UNHAG) CELEC-EP.

La Central San Francisco se encuentra en operación desde el año 2007, la singularidad de este proyecto es que por medio del túnel de interconexión, nuevamente se aprovecha el caudal de agua usado para la generación eléctrica de la Central Agoyán. El flujo de agua después de haber utilizado es devuelto a su cauce normal en el Río Pastaza.

El proceso de producción de energía eléctrica de la Central San Francisco requiere de la materia prima, en este caso es el recurso agua; la misma que es distribuida y conducida hacia las turbinas de las dos unidades generadoras, haciendo girar cada uno de los ejes para la transformación de la energía hidráulica del agua en energía mecánica, para finalmente ser transformada en energía eléctrica por los generadores.

Dentro del proceso de producción de energía eléctrica en la Central San Francisco están incluidos elementos, que en conjunto garantizan el funcionamiento óptimo de las unidades generadoras, uno de estos elementos es el denominado sello del eje el cual tiene como principal función impedir el paso de agua turbinada desde el rodete hacia el exterior; el sello del eje incluye un sistema de inyección de agua llamada agua de sellos, usada para el enfriamiento de las piezas que se encuentran en constante rozamiento evitando así su calentamiento y rápido desgaste, otra función del agua de sello es anular el paso del agua del rodete hacia el exterior, para lo cual ésta es suministrada con una mayor presión que la que posee el agua en la zona del rodete.

El agua utilizada actualmente en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco, es proveniente de un conjunto de infiltraciones, las cuales son recolectadas y canalizadas para su posterior aprovechamiento. El agua recolectada es conducida hacia un sistema de filtros, para luego ser almacenada en el tanque de infiltraciones. Desde aquí es distribuida a cada uno de los sellos de las turbinas.

Las infiltraciones de agua es un proceso que se da de manera natural por fenómenos hidrológicos, debido a las propiedades del agua, hacen que tenga la capacidad de modificarse o adquirir características al pasar por las diferentes capas del suelo, haciéndola moderadamente dura, es decir, químicamente, con un contenido medio de iones Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}).

La dureza del agua es monitoreada mensualmente por personal que labora en la empresa, llevando un control de la misma, es medida en unidades de mg/L o ppm de Carbonato de Calcio (CaCO_3). Estos monitoreos nos dan a conocer que el agua de entrada actual en el sello del eje de la turbina está por encima de la dureza máxima recomendada por el fabricante de los equipos.

El contenido de dureza no recomendada del agua actualmente utilizada, produce la acumulación constante de carbonatos al interior del sistema, lo que podría ocasionar posibles fallas en el mismo. Estos depósitos pueden aumentar la presión al interior del sistema provocando un desequilibrio en todo el sistema de generación eléctrica. Actualmente se realiza monitoreos de presión al interior del sello de eje, valores que permiten evaluar el estado del sello de eje.

Los procesos de ablandamiento se han venido desarrollando de manera extensa y exitosa en procesos industriales dirigidos para la disminución de la dureza. La técnica de ablandamiento tiene como principio químico el intercambio iónico por medio de la aplicación de resinas, sustituyendo así los iones que provocan los problemas de incrustaciones dentro del sistema por iones de menor carácter incrustante, mejorando así la calidad del agua usada en procesos industriales.

Existe un estudio realizado sobre el tema de investigación para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de Ciencias – ESPOCH de la ciudad de Riobamba, tesis realizada por la misma facultad en la Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo. En el cual se describe el sistema de ablandamiento diseñado para el agua de cisternas, donde se considera la calidad del agua; el sistema está planteado para agua de alta dureza, la misma que trae consecuencias de incrustaciones en los equipos utilizados; se aplicó el tipo de Metodología Analítica, como también el análisis de intercambio iónico para el sistema de ablandamiento. En los resultados se detalla la disminución de la dureza, lo cual genera una considerable disminución de las incrustaciones y por ende el aumento de la vida útil de los equipos. (Martínez & Idrobo, 2012, p.6)

De las indagaciones adicionales realizadas, se encontró una tesis de la Universidad Politécnica Salesiana, realizada por la Carrera de Ingeniería Mecánica sobre el diseño y construcción de un ablandador de agua para el laboratorio de termodinámica de la Universidad. En conclusión del análisis de la documentación se describe que el proceso de ablandamiento químico llevado a cabo con resinas produce agua con bajo contenido de dureza. (Cervantes, 2015, p.13)

También se encontró documentación relevante y relacionada a la parte experimental donde se recomienda incluir un estudio de las propiedades del agua, determinación de la dureza del agua, también se realizan pruebas para la selección del tipo de ablandador iónico, para el funcionamiento del mismo se debe tomar en cuenta los ciclos de funcionamiento y los principios del diseño. Uno de los puntos más importantes es la determinación del caudal, lo cual nos va a ser de utilidad para el dimensionamiento del sistema de ablandamiento.

ANTECEDENTES

La región centro del Ecuador posee características climáticas específicas que hacen de la zona un lugar con un elevado contenido de humedad debido a los procesos y ciclos naturales que en el lugar se dan. Atribuyendo propiedades a los recursos naturales de la zona.

Dentro de los procesos hidrológicos tenemos la infiltración, por medio de la cual el contenido de agua que se encuentra en la superficie de la tierra pasa al suelo, este fenómeno está gobernado por dos fuerzas, la gravedad y la acción capilar, las mismas que dependen de varios factores como la textura y estructura del suelo, el tipo de vegetación que predomina en la zona, el contenido de agua que posee el suelo, la temperatura e intensidad de precipitación de la región. (Forsythe, 1980, p.157)

En la Central San Francisco se aprovecha el caudal de las infiltraciones en varios sistemas auxiliares, el agua de infiltraciones proveniente de la montaña es conducida para abastecer al tanque de infiltraciones, por medio de un sistema de bombas el agua es succionada y sale del tanque con un caudal de 185,2 m³/h, de los cuales 8,4 m³/h con 7,4 bar de presión son conducidos hacia el sistema de filtrado, pasado el filtro el flujo de agua es conducido y distribuido por tubería de acero inoxidable hacia los dos sellos; a cada sello ingresan 4,2 m³/h (Water Projects S.A, 2015, p. 8, 40)

El agua de infiltraciones al estar en contacto directo con el material edáfico que constituye la tierra, sufre modificaciones en su composición química, debido a las múltiples interacciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en el medio, otorgándole así nuevas características al agua, entre las más comunes está el aumento de iones calcio y magnesio en el agua lo que influye directamente en la dureza de la misma. (Pimienta, 1980, p.179)

En la Central San Francisco se realiza el análisis de la dureza del agua antes de ingresar al sistema de sellos dando como resultados un agua moderadamente dura, lo que conlleva a la generación de incrustaciones al interior del sistema de sello.

JUSTIFICACIÓN

La Central San Francisco de la Unidad de Negocio Hidroagoyán tiene una potencia instalada de 215 MW con dos unidades generadoras, para la producción de energía eléctrica al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. Lo que compromete a la Central a estar operativa y con un funcionamiento óptimo para el aporte de energía eléctrica al País. Esto conlleva al análisis de cada uno de los sistemas que intervienen en la generación eléctrica en la central.

El sistema de enfriamiento emplea una cantidad de agua, que es denominada agua de sellos, la cual cumple funciones como la de evitar el calentamiento de las piezas involucradas y presurizar el sistema. Hasta el momento se ha empleado el agua que es recolectada de las infiltraciones, la cual pasa por un filtro para evitar el ingreso de cuerpos sólidos que puedan dañar los materiales y equipos. En si el agua es suministrada directamente, sin pasar por un tratamiento químico que logre mejorar la calidad de la misma.

Los monitoreos de dureza en el agua de sellos reportan valores fuera de los recomendados por el fabricante del sistema, lo cual trae a discusión los problemas que las acumulaciones de carbonatos de calcio podrían ocasionar al sistema. Se habla de un desgaste en los materiales, así como el aumento de presión al interior del sistema causado por la acumulación de incrustaciones, trayendo como consecuencia la disminución de la eficacia en todo el sistema de generación eléctrica.

La implementación de un sistema de ablandamiento permitirá eliminar o disminuir la dureza del agua usada en el sello del eje de la turbina de cada unidad generadora de la Central San Francisco, mejorando significativamente la calidad del agua y haciendo que cumpla con parámetros previamente establecidos para un adecuado funcionamiento del sistema de sello del eje.

Al optimizar la calidad del agua las piezas del sello del eje no se contaminarán con sedimentos calcáreos e incrustaciones que son la causa de cambios de presión dentro del sistema del sello del eje de las turbinas.

El sistema de ablandamiento también traerá como resultado el aumento de la vida útil del sello del eje de las turbinas, reduciendo costos y frecuencia de ejecución en las actividades de mantenimiento, logrando de esta manera optimizar los recursos empleados para la generación de energía eléctrica.

Para ello es de vital importancia la verificación del sistema de ablandamiento a nivel de laboratorio. Con el diseño propuesto en el presente trabajo, se va a realizar una serie de pruebas con el fin de comprobar la efectividad del sistema de ablandamiento seleccionado.

La simulación del ablandamiento a escala laboratorio nos dará a conocer los beneficios que posee, las principales características que debe tener para su óptimo funcionamiento, las condiciones y consideraciones que se deben tomar en cuenta para que el sistema cumpla con su objetivo, que garantice la disminución de la dureza a valores adecuados.

Todas estas medidas adoptadas darán como resultado un mejor funcionamiento de las unidades generadoras de la Central San Francisco y de manera directa al cumplimiento de la razón social que posee la UNHAG que es la generación de energía eléctrica para el país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar a escala de laboratorio el sistema de ablandamiento del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco UNHAG CELEC-EP usando el principio de intercambio iónico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización física, química del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco.
- Analizar la caracterización físico-química del agua de sello de eje de las turbinas de la Central San Francisco, para verificar la aplicabilidad del ablandamiento por resinas de intercambio iónico.
- Determinar la influencia del agua actualmente usada en el sello de eje de las turbinas de la Central San Francisco al interior del sistema.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de ablandamiento del agua de sello del eje de las turbinas a emplearse en la Central San Francisco.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua

El agua es uno de los factores ambientales que junto con factores químicos y físicos dieron origen a la vida en el planeta. Es el líquido indispensable para el desarrollo de la vida en la Tierra. Químicamente es una molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). (Manahan, 2007, p.4)

Se la puede encontrar de forma natural en sus tres estados físicos como son: sólido, líquido y gaseoso. Constituye a la tierra, aproximadamente en un 71% de la superficie de la misma, de los cuales un 97% del agua se localiza en los océanos y solo un 3% es agua dulce. El agua ejerce una doble acción en la corteza terrestre, una de ellas debido a su alto poder disolvente al contacto con varias sustancias y, por otro lado, por su acción como agente erosivo modificando el relieve. (Toledo, 2006, p.26)

El ciclo del agua inicia con la evaporación debido a la acción del sol sobre los cuerpos hídricos, el vapor de agua se eleva y condensa en forma de nubes, finalmente el agua cae por su propio peso, a este fenómeno lo denominamos precipitación, una parte del agua al llegar a tierra es aprovechada en diferentes procesos por los seres vivos, el agua que no es aprovechada se infiltra en el suelo formando así los cuerpos de agua subterránea o llega a cuerpos de agua superficial gracias al proceso de escorrentía.(Nebel & Wright, 1999, p.266)

El agua natural puede contener una gran variedad de impurezas o sustancias ya seas en suspensión o diluidas, otorgadas por el ciclo hidrológico que el recurso sufre previamente; el contenido de impurezas en el agua causa efectos indeseables, ya sea para uso doméstico o industrial, generando problemas a la infraestructura con incrustaciones o corrosividad, deteriorando los materiales y equipos empleados para el aprovechamiento. (Romero, 2009, p.13)

1.2. Agua para uso industrial

Con el paso del tiempo el agua, debido a su disponibilidad y bajo costo, ha sido usada por los seres humanos en distintos procesos industriales. Entre las aplicaciones más comunes dentro de la industria está el uso del agua para calderos y para procesos de enfriamiento, o como medio de transporte y también se la usa como materia prima al aprovechar la energía hidráulica que las corrientes de agua poseen, estos procesos constituyen operaciones de gran importancia para el cumplimiento de un objetivo común en el desarrollo de la sociedad. (Ortuño, 2006, p.94).

Cada proceso industrial requiere características especiales del agua, exenta de determinados contaminantes, dependiendo del proceso de aprovechamiento del recurso.

El tipo de tratamiento al que debe ser sometida el agua dependerá directamente de uso final; tratamientos mínimos para la eliminación de sustancias corrosivas o incrustantes, el agua usada para el procesamiento de alimentos debe estar libre de patógenos y sustancias tóxicas.

Si se da un tratamiento impropio al agua de uso industrial puede ocasionar problemas como corrosión, formación de incrustaciones al interior del sistema, problemas de transferencia de calor y contaminación de los productos. Lo que lleva a un incremento en costos por reparación de materiales y equipos, mayor requerimiento energético, trayendo como consecuencia disminución de productividad y eficiencia del proceso. (Manahan, 2007, p.207)

1.3. Impurezas del agua

Dependiendo el origen del agua esta puede contener impurezas como partículas suspendidas, coloidales o en suspensión, las mismas que varían de tamaño. Estas impurezas si no son tratadas pueden ocasionar inconvenientes a nivel industrial, para la eliminación de estas sustancias se procede a tratamientos como la sedimentación, de ser el caso, si las partículas son demasiado pequeñas, se requiere de la formación de agregados por medio de agentes coagulantes, los mismos que ayudan a la decantación de los complejos formados y de esta manera lograr una separación exitosa de las partículas del agua. (Weber, 1979, p.64)

El agua que es subterránea posee impurezas debido a su paso a través de los diferentes estratos del suelo. Al ser aguas naturales están constituidas por sustancias químicas suspendidas o disueltas que modifican las características y propiedades del agua. (Romero, 2009, p.20)

1.3.1. Clasificación de las impurezas del agua

La clasificación de las impurezas se da de manera general por el tamaño que estas poseen así tenemos:

- Partículas suspendidas: son aquellas que poseen de diámetro un micrón (1μ). Este tipo de partículas por lo general son retenidas con facilidad en los filtros convencionales. Debido a su tamaño otorgan al agua un aspecto turbio. (Llata, 2003, p.160)
- Partículas coloidales: su diámetro es menor a 1μ hasta $1 \times 10^{-3} \mu$. La velocidad de sedimentación de estas partículas es casi nula debido a su tamaño. (Llata, 2003, p.160)
- Iones y moléculas disueltas: son partículas cuyo diámetro es inferior a $1 \times 10^{-3} \mu$. Generalmente son iones de carga positiva o negativa, cationes y aniones respectivamente, con enlaces iónicos haciendo que el agua tenga la propiedad de conducir corriente eléctrica. (Llata, 2003, p.160)

1.4. Características fisicoquímicas del agua industrial

1.4.1. *Temperatura*

La temperatura del agua es un factor físico, definido como el contenido relativo de calor en un cuerpo de agua. Este factor tiene una influencia en los demás parámetros del agua, esencialmente afecta a las reacciones químicas propias del agua y a la solubilidad de sales, lo que influye en la determinación de dureza del agua. (Ramos, Sepúlveda & Villalobos, 2003, p.74)

1.4.2. *Potencial de hidrógeno (pH)*

El pH está determinado por la cantidad de iones hidronio (H_3O^+) que posee el agua; este determina si la sustancia es de carácter ácido o alcalino mediante una escala de 0 a 14 donde, los valores inferiores a 7 corresponden a una sustancia ácida, valores superiores a 7 pertenecen a sustancias alcalinas, mientras que el punto 7 identifica a una sustancia neutra. El valor adecuado de pH del agua dependerá del uso final que se desee dar. (Pancorbo, 2011, p.148)

La determinación del pH se realiza mediante el pH-metro, que es un instrumento analítico usado a nivel de laboratorio.

1.4.3. *Conductividad eléctrica*

El parámetro físico de la conductividad eléctrica se refiere a la capacidad que posee un cuerpo de agua para conducir electricidad, la cual depende de la cantidad de sales disueltas en el agua, es por ello que tiene una relación con el parámetro de dureza. (Rigola, 1990, p.28)

La conductividad es medida por lo general en Microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Según el valor de conductividad se puede clasificar al agua por su calidad. El valor para un agua pura se encuentra entre $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ considerando una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Rigola, 1990, p.29)

1.4.4. *Turbidez*

La turbidez es definida como la dificultad que el agua posee para dejar pasar o transmitir la luz en línea recta a través de una muestra; se da por la presencia de material en suspensión, o de carácter coloidal los cuales tienen una velocidad de sedimentación nula. Es decir el valor de la turbidez del agua dependerá de la cantidad de sustancias en suspensión que esta posea. (Rigola, 1990, p.28)

Para la determinación de la turbidez comúnmente se la realiza con el turbidímetro, los resultados se expresan en NTU, unidad nefelométrica de turbidez. La eliminación de la turbidez es necesaria la aplicación de varios métodos como la coagulación, sedimentación y filtración. (Weber, 1979, p.66)

1.4.5. *Alcalinidad*

Es la capacidad que posee el agua para el proceso de neutralización de ácidos, definido también como la cantidad total de concentración de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos contenidos en un cuerpo de agua. Las fuentes naturales de agua adquieren estas sustancias responsables de otorgarle alcalinidad al agua, debido a su propiedad de dilución al estar en contacto con los diferentes componentes del suelo. (Rodríguez & Marín, 1999, p.231)

Se expresa como mg/L de CaCO_3 y según el valor obtenido se puede realizar una valoración de los niveles de alcalinidad, Tabla 1-1

Tabla 1-1 Niveles de Alcalinidad

| Valoración | Alcalinidad (mg/L de CaCO₃) |
|-------------------|---|
| Muy Baja | < 12.3 |
| Baja | 24.6 - 41.0 |
| Media | 41.0 – 98.4 |
| Alta | 98.4 – 147.6 |
| Muy Alta | > 147.6 |

Fuente: Pancorbo, F. J, 2011, p.142

1.4.6. Dureza Total

El Calcio y Magnesio metales alcalinotérreos son principales responsables de la concentración de dureza en el agua. Estos iones provocan deficiencia en la formación de espuma al contacto del agua con detergentes, lo que influye en el rendimiento del proceso. La dureza total causa inconvenientes en la industria por la generación y acumulación de depósitos minerales en los materiales y equipos. (Manahan, 2007, p.221)

Suele expresarse en miligramos por litro de Carbonato de Calcio (mg/l de CaCO₃) o en partes por millón (ppm), según la concentración de dureza del agua se la puede clasificar, obteniendo las categorías que se presentan en la Tabla 2-1 (Pancorbo, 2011, p.137). Existen dos tipos de dureza, estas son:

- **Dureza permanente o no carbónica**

Atribuida por la concentración de sulfatos, cloruros y nitratos de los Calcio y Magnesio, los cuales no pueden ser eliminados del agua por el proceso de ebullición, que al no poder ser eliminados, tiene la capacidad de precipitar formando costras indeseables en los sistemas. (Pancorbo, 2011, p.137)

- **Dureza Temporal o carbónica**

Es denominada temporal por la eliminación de los bicarbonatos de calcio y magnesio presentes en el agua, mediante ebullición, donde son descompuestos en carbonatos y pueden precipitar. La formación de incrustaciones calcáreas va a depender de la temperatura a la que llega en agua. El agua puede ser agresiva o incrustante, características que deben ser tomadas en cuenta para su uso industrial. (Pancorbo, 2011, p.137-138)

La dureza total de aguas naturales se debe al paso de las mismas por el suelo y sus formaciones rocosas, otorgándole cantidades de carbonatos por la interacción del agua con los constituyentes de las rocas. Estas sustancias poseen una solubilidad muy baja haciendo que se produzcan incrustaciones. (Sawyer et al, 2001, p.564)

La dureza es un parámetro que se debe tomar en cuenta si la aplicabilidad del agua es en el área industrial, ya que si las concentraciones son elevadas puede generar inconvenientes por la generación de incrustaciones afectando potencialmente a los materiales y equipos. (Odetti & Bottani, 2006, p.105)

Tabla 2-1 Clasificación del agua según la Dureza

| Denominación | Dureza (mg/L de CaCO₃) |
|----------------------|--|
| Blanda | 0-50 |
| Moderadamente Blanda | 50-100 |
| Ligeramente Dura | 100-150 |
| Moderadamente Dura | 150-200 |
| Dura | 200-300 |
| Muy Dura | >300 |

Fuente: Pancorbo, F. J, 2011, p.137

1.5. Índice de Langelier

El índice de saturación o índice de Langelier, es aquel que nos permite conocer el potencial que un cuerpo de agua posee para ser agresiva o corrosiva, se determina según las características fisicoquímicas de temperatura, pH, alcalinidad y dureza total del agua. Calcula si las sales insolubles presentes en el agua se encuentran en saturación. (Jiménez, 2001, p.131)

En la industria es muy importante el cálculo del índice de saturación del agua que va a servir como materia prima o se la aplica en procesos alternos, ya que con él se puede predecir si va a ocasionar incrustaciones al interior de tuberías y equipos o va a corroer los mismos.

Los valores del Índice de saturación poseen las siguientes denominaciones:

- Si el Índice de Langelier es < -0.5 , corresponde a un agua de carácter corrosiva por su contenido ácido, ocasionando la constante absorción de los metales pesados constituyentes de los materiales con los que el agua está en contacto. (Rodríguez & Marín, 1999, p.258)
- Si el Índice de Langelier es $> +0.5$, equivale a un agua de carácter incrustante, lo que origina la sedimentación de compuestos como el Carbonato de Calcio, fenómeno denominado calcificación, afectando a equipos y materiales ocasionando principalmente obstrucción de paso del flujo normal. (Rodríguez & Marín, 1999, p.258)
- Si el Índice de Langelier es $= 0$, es agua se encuentra en equilibrio. (Rodríguez & Marín, 1999, p.258).

1.6. Tratamiento de Aguas Industriales

La disminución o eliminación de las impurezas por medio de operaciones o procesos físicos, químicos o biológicos, es la definición de tratamiento de aguas. Someter a un cuerpo de agua a un

determinado proceso con la finalidad de mejorar su calidad y asegurar su aplicabilidad en la industria. (Martínez & Idrobo, 2012, pp.24)

En la industria cada proceso requiere de un determinado tipo de calidad del agua dependiendo su aplicabilidad, es por ello que el agua utilizada en un sistema puede ser totalmente inadecuada para otro. (Powell, 1987, pp. 13).

La importancia de otorgarle un tratamiento adecuado, radica en el aprovechamiento adecuado del agua en la industria, de los recursos materiales y económicos. Para la selección del tratamiento es necesario conocer el principio de cada proceso. (Rigola, 1990, p.12). Un tratamiento inapropiado al agua para uso industrial puede ocasionar problemas de corrosión, generación de incrustaciones, así como reducción en procesos de transmisión de calor, el deficiente suministro de agua. (Manahan, 2007, p.207)

El tratamiento va a depender de las sustancias presentes en el agua no deseadas para el proceso industrial, y la calidad exigida por el mismo. Las fuentes de agua natural por lo general no se encuentran aptas para su uso directo en la ingeniería de procesos. Al existir una gran variedad de procesos para mejorar la calidad del agua, la decisión es por lo general dependiendo al costo del sistema de tratamiento. (Rigola, 1990, p.43).

1.6.1. *Métodos de Tratamiento*

Los métodos de tratamiento de aguas para uso industrial tienen por objetivo garantizar la calidad y la adecuada suministración del líquido en los procesos u operaciones unitarias. Incluyen también los procesos de control. (Pancorbo, 2011, p.243)

Los tratamientos para el agua cuyo destino es el uso industrial, se clasifican en dos grandes grupos dependiendo de su intervención en el proceso principal. Así tenemos:

1.6.1.1. *Tratamientos externos*

Son aquellos que se efectúan en una fase previa al proceso de utilización del agua en la industria. Es decir que el tratamiento no influye directamente en el proceso principal. Tiene como finalidad que el agua a ser aprovechada ingrese al sistema con las características y condiciones necesarias. Incluye tratamientos como el ablandamiento, desmineralización, desgasificación y también el pretratamiento, el cual cumple las funciones de eliminar impurezas y adecuar el agua para su tratamiento final. (Orozco, Pérez, González, Rodríguez & Alfayate, 2003, p.182)

1.6.1.2. *Tratamientos internos*

Se involucran con el proceso principal ya que se aplican en el momento y en el lugar en donde se aprovecha el agua, por lo general son procesos de acondicionamiento. (Orozco, et al., 2003, p.183). En su mayoría son aplicados en las pequeñas industrias. (Pancorbo, 2011, p.243)

1.7. Filtrado

Proceso unitario que tiene por finalidad la separación de partículas sólidas contenidas en un cuerpo de agua, para lo cual el medio acuoso pasa a través de membranas porosas, llamadas también lecho filtrante, el cual retiene a los sólidos, obteniendo el líquido libre de partículas sólidas. El proceso industrial de filtración comúnmente empleado, es el de profundidad, en donde se requiere de un lecho filtrante, como la arena o en carbón. (Marín, 2003, p.175)

En el mecanismo físico de filtración, se debe tomar en cuenta las propiedades fisicoquímicas del material en suspensión, del lecho filtrante y del agua. (Weber, 1979, p.147)

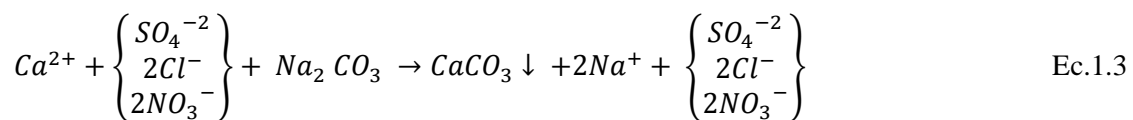
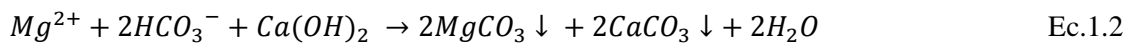
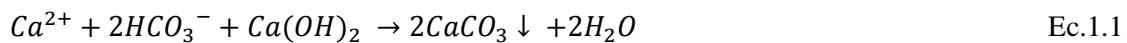
1.8. Ablandamiento

Es un proceso físico-químico, cuya finalidad es la reducción de los iones Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) principales metales divalentes responsables de la dureza del agua. De manera general el agua dura es impropia si su uso final es en la industria. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

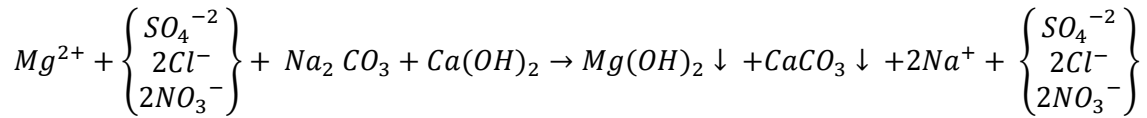
1.8.1. Ablandamiento con Cal-soda

Mediante el Óxido de Calcio (CaO) o también llamada cal, se reduce la dureza temporal o carbónica, y para la disminución de la dureza permanente o no carbónica se emplea la soda o Carbonato de Sodio Na_2CO_3 . Eliminando la dureza por un conjunto de reacciones químicas que producen la precipitación de compuestos insolubles. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

El proceso se resume en las siguientes ecuaciones químicas: (Weber, 1979, p.299)



Ec.1.4



La cal sufre un proceso de hidratación al ser añadida al agua, pasando a Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂), Ec. 1.1, convirtiendo las sustancias químicas presentes en compuestos insolubles, como lo es el Carbonato de Calcio (CaCO₃), Ec.1.1. Mientras que la adición soda precipita el Magnesio como Hidróxido de Magnesio (Mg (OH)₂), Ec.1.4. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

Este tipo de tratamiento requiere de suministradores de químicos, reguladores de pH, equipo de homogenización, un sistema de sedimentación, filtros y disposición de lodos. (Weber, 1979, p.299)

La aplicación de una cantidad considerable de químicos es considerada una desventaja, se requiere llevar un control del proceso, la dureza del agua no es eliminada íntegramente. (Orozco, et al, 2003, p.176)

1.8.2. *Ablandamiento por intercambio iónico*

El intercambio iónico es una operación unitaria que se da por medio de un cuerpo en fase sólida, con la característica de ser insoluble en agua, contiene en su estructura iones cargados positivamente o negativamente, dependiendo su aplicabilidad. (Laitinen & Harris, 1982, p.534).

El proceso de ablandamiento, se da por la sustitución de los iones contenidos en la fase líquida, por iones de la misma carga presentes en el material intercambiador iónico. (Manahan, 2007, p.223). Modificando cualitativamente, la composición química del intercambiador iónico y del agua. (Marín, 2003, p.182)

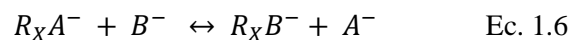
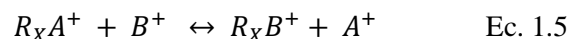
1.9. Resinas de intercambio iónico

Las resinas, macromoléculas de carácter insoluble, que mediante enlaces covalentes se encuentran unidas a grupos ionizables o grupos polares, ácidos o básicos. (Primo, 1996, p.442; Brown & Sallee, 1977, p.543). Esta cadena de polímeros esféricos o granulares posee la característica de eliminación o sustitución selectiva de iones. (Rigola, 1990, p.73)

Los intercambiadores iónicos pueden ser resinas naturales o sintéticas, las cuales remplazan los compuestos responsables de la dureza en el agua, por elementos que no la generen. Para lo cual es necesario que el agua dura, tenga contacto con el material sólido de intercambio. Una de las ventajas de este método de ablandamiento es que las resinas utilizadas en el intercambio iónico pueden ser regeneradas, por su reacción química reversible. (Orozco, et al, 2003, p.176)

El ablandamiento generalmente consiste en la sustitución de los iones Calcio y Magnesio, por iones Sodio o Hidrógeno, los primeros contenidos en el agua a tratar quedan inmovilizados en la resina, mientras que los otros cationes son liberados en el efluente de agua. Obteniendo una reducción total de la dureza. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

De manera general el proceso de intercambio iónico se da según la siguiente ecuación. Ec. 1.5 y Ec. 1.6 para intercambio catiónico y aniónico respectivamente. Es una reacción reversible, en donde R_XA , representa a la resina contenida con el ion A y B^n simboliza al ion de interés a ser cambiado, tenido como resultado la retención del ion en la resina. (Orozco, et al, 2003, p.177)



1.9.1. *Clasificación de las resinas*

1.9.1.1. *Según su estructura de red*

1.9.1.1.1. *Resina Microporosas*

Denominadas resinas tipo gel, el tamaño de los poros de esta resina es reducido, por ello las llaman también microporosas. Son resultado de la polimerización entre el divinilbenceno y el estireno. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.87)

1.9.1.1.2. *Resina Macroporosas*

Llamadas macroreticulares, son constituidas por poliestireno y divinilbenceno. Se diferencian de las resinas tipo gel por su mecanismo de formación mediante un co-solvente, el cual se incluye a las cadenas poliméricas, y es desechado al constituirse la forma rígida del polímero. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.88)

1.9.1.1.3. *Resina Isoporosas*

El tamaño de sus poros relativamente uniforme, hace que su capacidad permeable de iones sea mayor, se caracterizan por su elevada capacidad de intercambio, el proceso de regeneración es eficiente y su costo en el mercado comercial es menor, en comparación con las macroporosas. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.88)

1.9.1.2. *Según su grupo funcional*

1.9.1.2.1. Resina catiónica de ácido fuerte

Sustituye iones cargados positivamente. Son sintetizadas por la sulfonación entre el polímero y ácido sulfúrico, siendo este último el grupo funcional (-SO₃), Figura 1-1, tiene la capacidad de funcionar a cualquier pH, por lo que su aplicabilidad es extensa. Para su regeneración es necesario una cantidad elevada de regenerante. (Avilla, 2002, p.22)

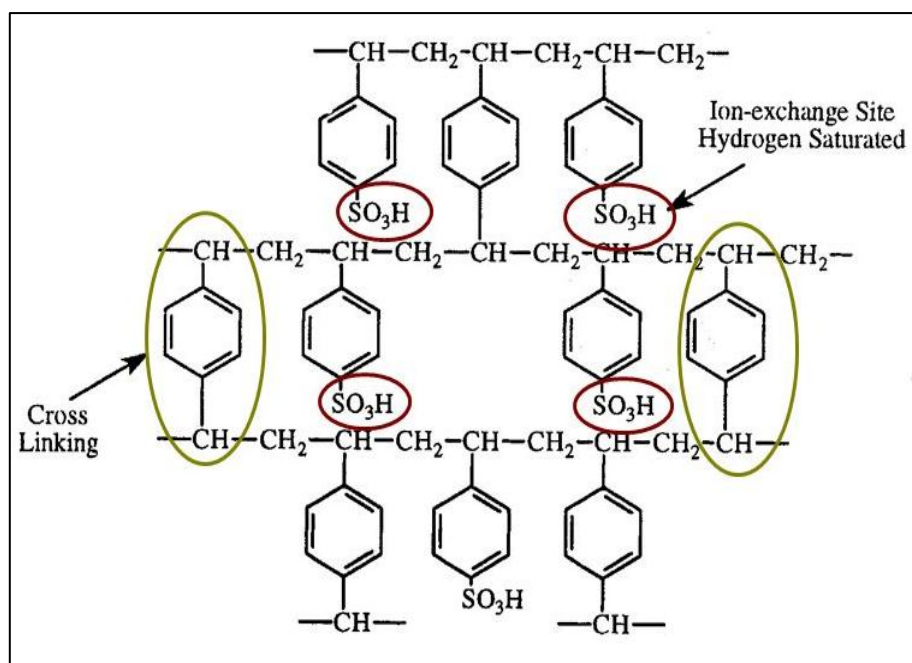
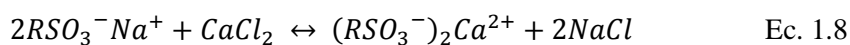
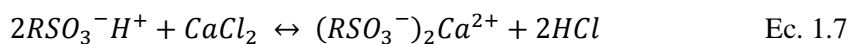


Figura 1-1 Resina Catiónica de ácido fuerte

Fuente: Pasto & Johnson, 1981



1.9.1.2.2. Resina catiónica de ácido débil

Tiene como grupo funcional al ácido carboxílico (COOH), o al hidroxilo (OH). , Figura 2-1, (Laitinen & Harris, 1982, p.535), su capacidad de intercambio es menor que las resinas catiónicas de ácido fuerte, la expansión de las partículas es elevado, siendo este un factor a ser considerado para su aplicación, la funcionabilidad de la resina disminuye a pH bajos. Requiere una menor cantidad de regenerante. (Avilla, 2002, p.22)

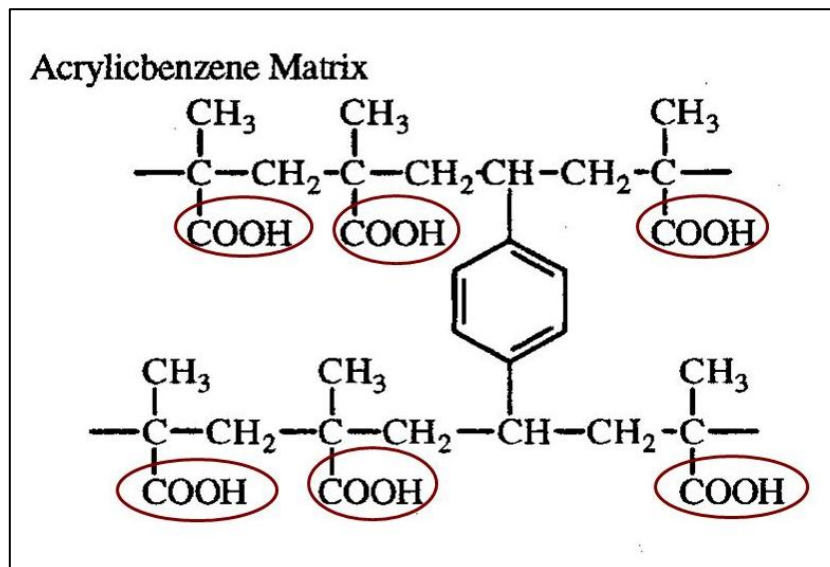
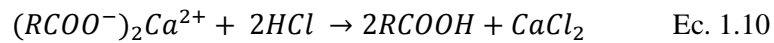


Figura 2-1 Resina Catiónica de ácido débil
Fuente: Pasto & Johnson, 1981

1.9.1.2.3. Resina aniónica de base fuerte

Son obtenidas mediante la reacción entre copolímeros de estireno-divinilbenceno clorometilados con aminas. Posee como grupo funcional a la sal de amonio cuaternario (R_4N^+). Intercambia a los iones cargados negativamente, su regeneración comúnmente se realiza con elevadas cantidades de sosa. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.88). Figura 3-1.

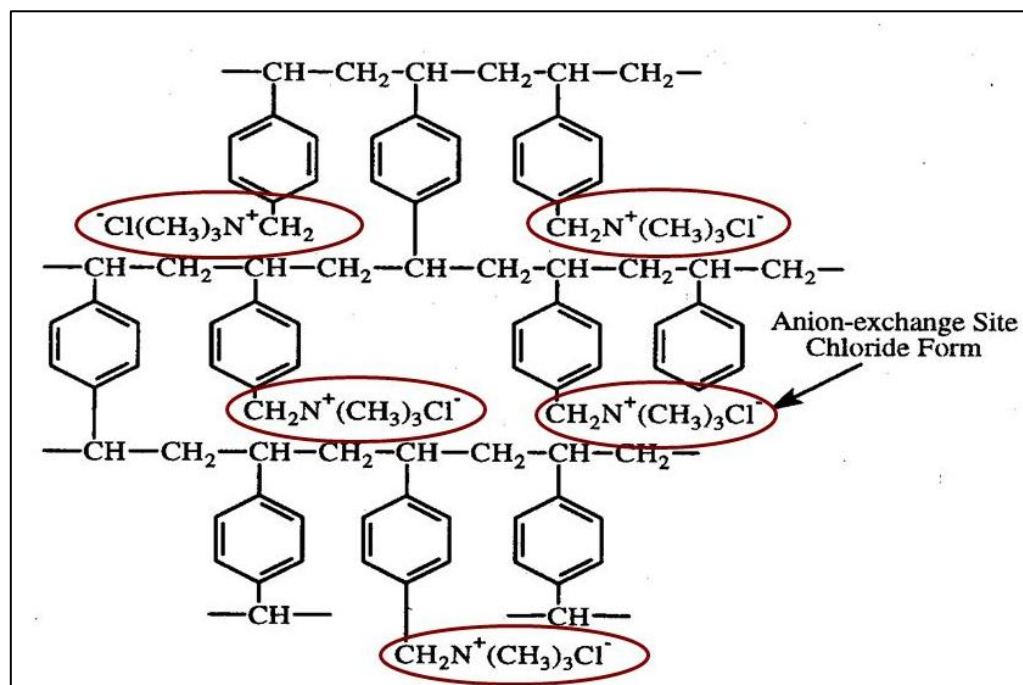


Figura 3-1 Resina Aniónica de base fuerte

Fuente: Pasto & Johnson, 1981

1.9.1.2.4. Resina aniónica de base débil

Su grupo funcional es la poliamina, Figura 4-1, el cual tiene la capacidad de descartar ácidos fuertes, o la acidez mineral libre contenida en el efluente de cationes. Su proceso de regeneración es eficiente con cantidades limitadas de base como el hidróxido de sodio. Son empleadas en aguas con elevadas concentraciones de sulfatos o cloruros, con el fin de purificar el agua. (Avilla, 2002, p.22)

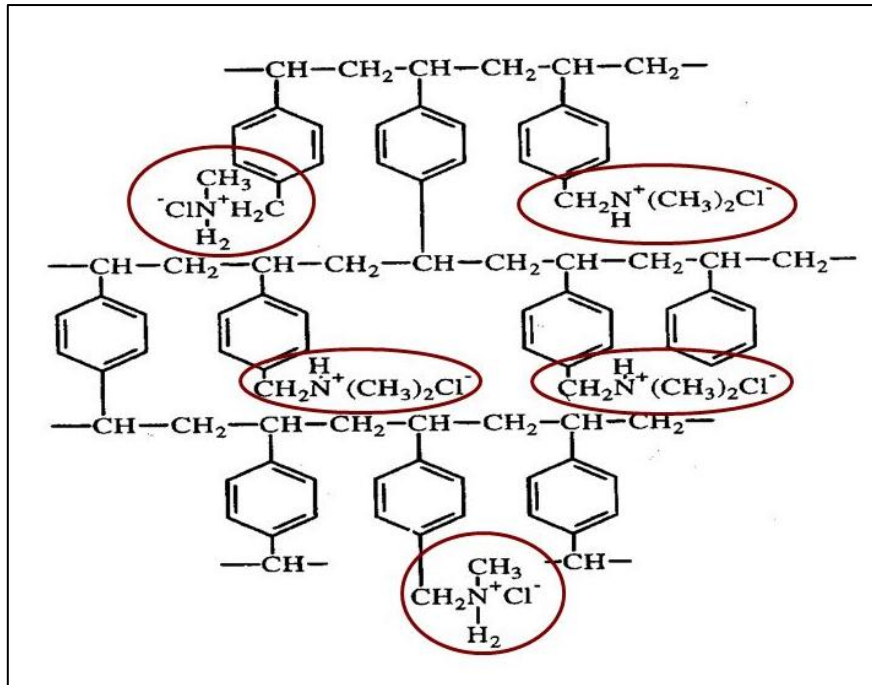


Figura 4-1 Resina Aniónica de base débil

Fuente: Pasto & Johnson, 1981

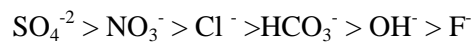
1.9.2. *Selectividad de las resinas*

Las resinas poseen la propiedad de selectividad, debida a la afinidad por los diferentes iones, se aprovecha esta propiedad para la eliminación de ciertos elementos que constituyen al agua. El orden de selectividad se describe a continuación. (Dardel, 2016)

Resina catiónica



Resina aniónica



En muchos de los casos la eliminación de ciertos iones se debe realizar con resinas sintéticas creadas específicamente para alcanzar la sustitución, la dificultad de exclusión se debe a la competencia entre elementos. En este grupo tenemos principalmente: Boro, Niquel, Cromato y Uranio. (Dardel, 2016)

1.10. Resina Purolite C 100

Todos los productos de Purolite tienen son elaborados para cumplir con las más altas exigencias. La Resina Purolite C 100, es catiónica de ácido fuerte, tipo gel, con la capacidad de reemplazar todos los iones Calcio y Magnesio por iones Sodio. La sustancia regeneradora es el cloruro de sodio (NaCl). Es de color ámbar con forma esférica. Su aplicabilidad se extiende a procesos de ablandamiento y desmineralización a escala industrial. La Tabla 3-1 sintetiza las principales propiedades, mencionadas en la ficha técnica de la Resina Purolite C 100.



Figura 5-1 Resina Catiónica

Fuente: Carbotecnia®

Tabla 3-1 Principales propiedades de la Resina Purolite C 100

| Propiedades | Valor |
|-----------------------------|-----------------|
| Capacidad total | 2.0 eq/L |
| Tamaño de partículas | 300-1200 micras |
| Dilatación reversible (max) | 8% |
| Peso (aprox) | 800-840 g/L |
| Temperatura límite | 120 °C |

Fuente: Purolite®

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

1.11. Intercambio iónico en Columna

El mecanismo de intercambio iónico por lo general se realiza en columna, por ser un proceso en continuo. En este método la membrana intercambiadora de iones o resina, se encuentra de forma empaquetada al interior de la columna, por la cual pasa el agua a ser tratada, permitiendo una sustitución completa de los iones involucrados en el intercambio. Una de las ventajas de esta técnica radica en que la reacción reversible entre la resina y el medio acuoso, sea completa y se pueda aprovechar la disposición de los elementos para el proceso de regeneración. (Walton & Reyes, 2005, p.297)

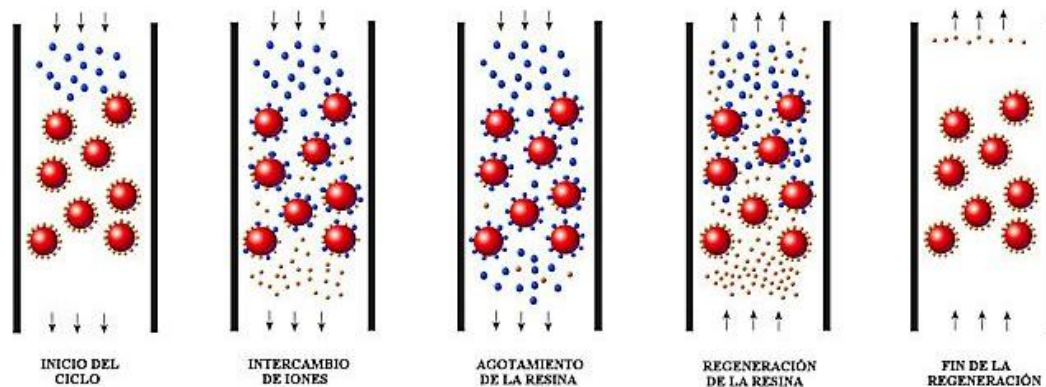


Figura 6-1 Proceso de intercambio iónico con resina.

Fuente: AQUATRACTA

En la Figura 6-1 se observa el proceso de ablandamiento del agua empleando un lecho de resina como intercambiador iónico, las capas de resina que tienen contacto con el agua cruda son las primeras en saturarse, el principal proceso de sustitución de iones se da en la parte más lejana al ingreso del flujo de agua, donde se genera una división entre la región saturada y la zona donde la resina aún se encuentra en óptimas condiciones para la transferencia de iones, este fenómeno hace que se genere una gradiente de concentración en las diferentes zonas de intercambio a lo largo de la columna. (McCabe, Harriott & Smith, 2002)

1.11.1. *Etapas del Proceso de Intercambio Iónico en Columna.*

1.11.1.1. *Etapa de Servicio*

Es la etapa en donde se efectúa el intercambio iónico, el agua a tratar fluye constantemente por la columna en donde se encuentra contenida la resina. Es el ciclo en donde ocurre el ablandamiento del agua, es en este ciclo en donde se ajusta la velocidad de flujo. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.51) En la Figura 7-1 se representa la etapa de servicio.

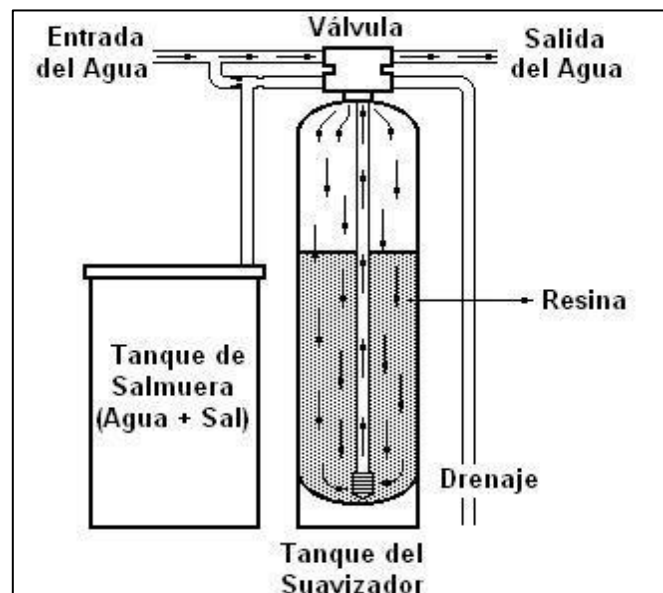


Figura 7-1 Etapa de Servicio

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.2. *Etapa de Retrolavado*

Es considerada la primera etapa de regeneración de la resina, en donde ocurre el retrolavado, Figura 8-1, con el fin de expandir la resina en toda la columna, liberándola de la posible turbidez presente en el lecho, así como también sedimentos que se acumulan durante el proceso de servicio del ablandador. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.51)

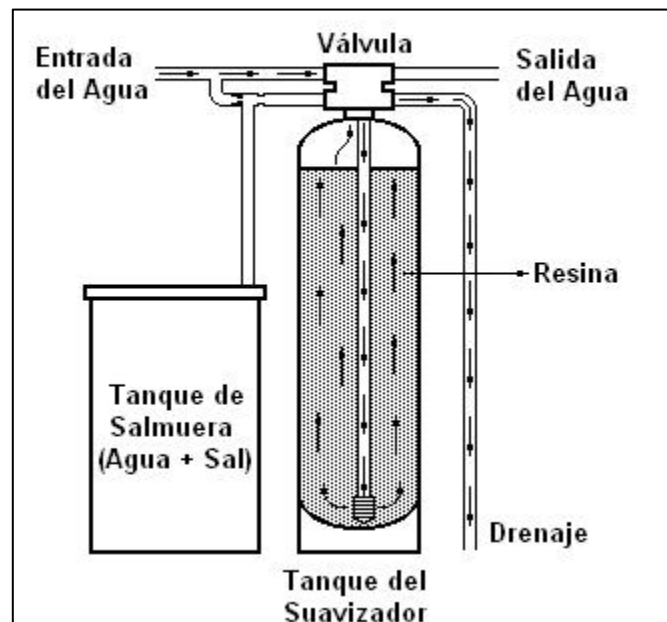


Figura 8-1 **Etapa de Retrolavado**

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.3. *Etapa de Regeneración de Resina*

La resina se desgasta durante la etapa de servicio por la sustitución de iones, llegando a un punto denominado, saturación, en el caso particular, para la regeneración de la resina se aplica una solución de Cloruro de Sodio, llamada también solución de salmuera, la cual se hace fluir por el lecho de resina con la finalidad de retirar los iones calcio y magnesio, sustituyéndolos por sodio. (Manahan, 2007, p.225)

1.11.1.3.1. *Regeneración co-corriente*

Es la regeneración en donde el flujo de la solución regenerante se hace pasar en la misma dirección que el agua a tratar. Requiere de excesivos volúmenes de salmuera para realizar una sustitución de los iones, la misma que es desigual en las capas de la resina. (Dardel, 2016). Figura 9-1

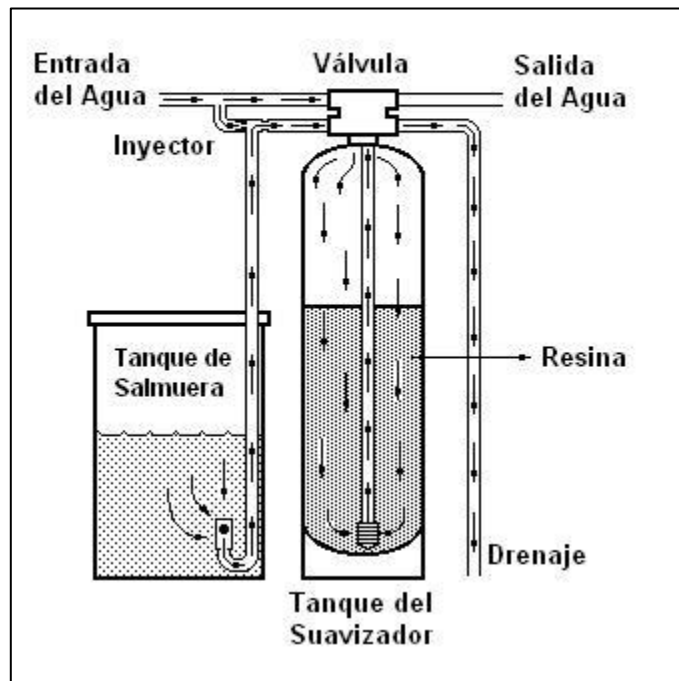


Figura 9-1 Etapa de Regeneración

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.3.2. *Regeneración contra-corriente*

Es aquel proceso en donde la salmuera se hace fluir en sentido opuesto al del agua a ser tratada, siendo este el método más eficiente para esta etapa, la fuga iónica es baja, la cantidad de regenerante es menor en comparación con el anterior método. (Dardel, 2016)

1.11.1.4. *Etapa de Enjuague lento*

En esta etapa se hace fluir el agua cruda, Figura 10-1, una vez terminada la regeneración de la resina. Tiene como propósito, eliminar los restos de solución salina, así como también una completa recuperación de la resina y la adaptación de la misma para el nuevo proceso de ablandamiento. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.53)

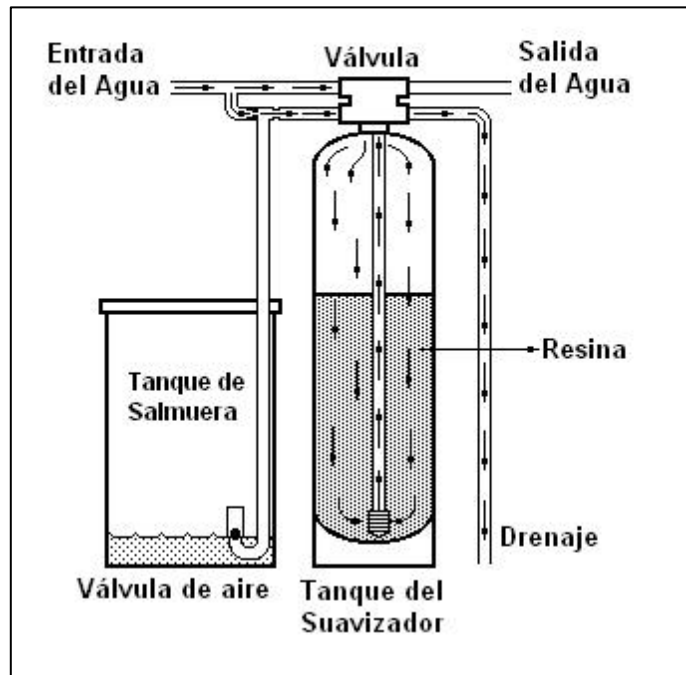


Figura 10-1 *Etapa de Enjuague Lento*

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.5. *Etapa de Enjuague rápido*

La etapa de enjuague rápido, en donde se pasa un flujo a mayor velocidad para lograr una compactación de la resina, y la eliminación total de salmuera. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.53)

1.11.1.6. *Etapa de Llenado del tanque de Salmuera*

Esta etapa cumple una función importante, que es la preparación del tanque de salmuera para la siguiente regeneración de la resina. Proceso que se puede realizar en paralelo con la incorporación del ablandador al nuevo ciclo de tratamiento.

1.11.2. *Parámetros de Diseño de Intercambio Iónico en columna*

1.11.2.1. *Curva de ruptura*

El proceso de intercambio iónico tiene un tiempo determinado de funcionalidad, en el cual la sustitución de iones cesa, por lo que en el efluente se obtienen las condiciones iniciales, este transcurso es denominado tiempo de ruptura (t_R). La determinación de la concentración vs el tiempo nos da la curva de ruptura. Figura 11-1. (Rodríguez, 1995, p. 331)

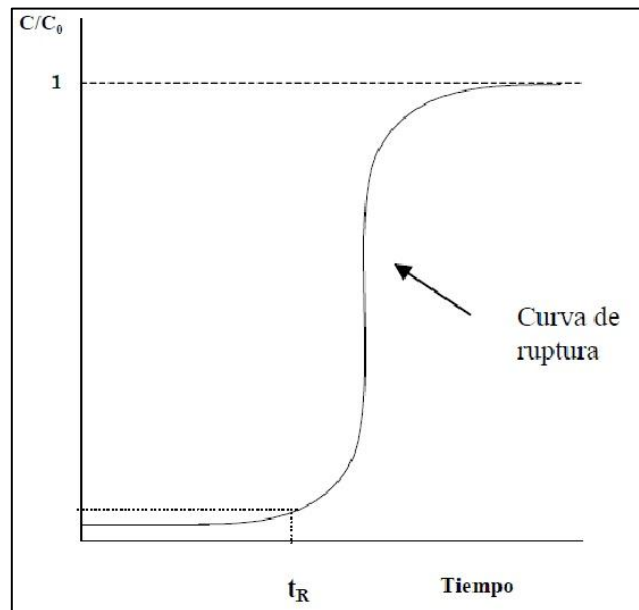


Figura 11-1 Concentración del efluente – tiempo
Fuente: Rodríguez, Universidad de Catilla

1.11.2.2. Capacidad de intercambio iónico

La resina posee una capacidad de intercambio definida como la cantidad de iones que son inmovilizados por gramo de resina. La elección de la resina dependerá de la capacidad de intercambio iónico que posea y que condiciones son las que se desean obtener. (McCabe, Harriott & Smith, 2002)

La determinación de la capacidad de intercambio se efectúa mediante el cálculo del área de la curva de ruptura, obtenida con la variación de concentraciones durante el proceso y la concentración inicial. Figura 12-1; y el peso de la resina utilizada. (Rodríguez, 1995, p. 331)

$$q_o = \frac{\text{Área sobre la curva de ruptura} \times C_o \left(\frac{meq}{L}\right)}{\text{Peso de la resina (g)}} \quad \text{Ec. 1.11}$$

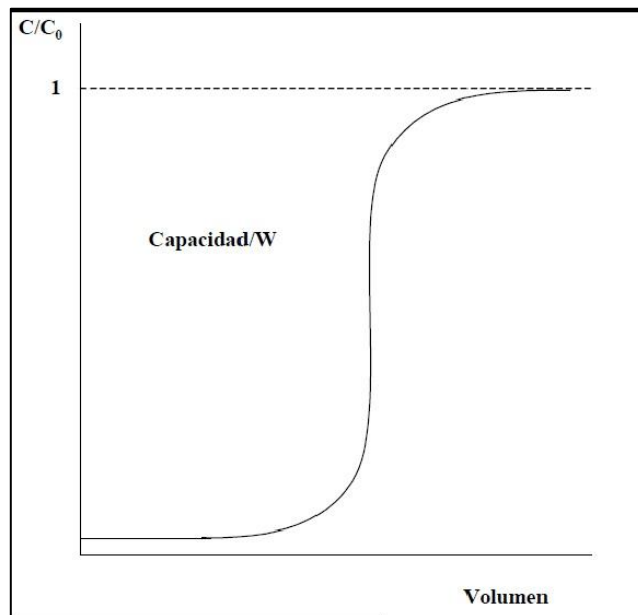


Figura 12-1 Capacidad de Intercambio de la resina
Fuente: Rodríguez, Universidad de Catilla

1.11.2.3. Fracción de Lecho Utilizado

$$\text{Fracción de lecho utilizado} = \frac{\text{cantidad de soluto retenido (meq)}}{q_o \left(\frac{\text{meq}}{\text{g}} \right) \times \text{peso resina (g)}} \quad \text{Ec. 1.12}$$

La fracción de lecho utilizado se obtiene con al Ec. 1.12, y para la determinación de la cantidad de soluto retenido en el transcurso del tratamiento por intercambio iónico se utiliza la curva de ruptura, Figura13-1, y la Ec. 1.13

$$\text{Cantidad de soluto retenido (meq)} = A_t \times C_o \quad \text{Ec. 1.13}$$

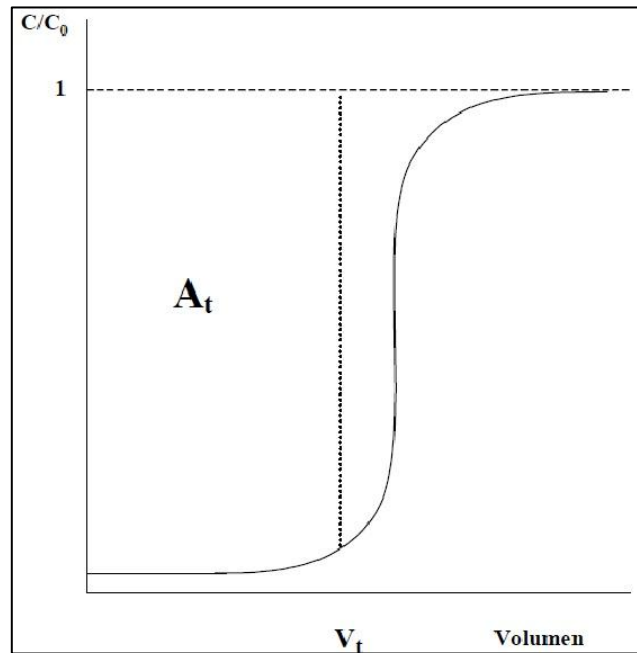


Figura 13-1 Cantidad de soluto retenido
Fuente: Rodríguez, Universidad de Catilla

1.11.2.4. *Eficiencia química de regeneración*

El cálculo de la eficiencia de regeneración dependerá de la cantidad de regenerante dosificado y la capacidad de intercambio iónico de la resina. La eficiencia será mayor del 100%, debido que el proceso de regeneración no es ideal. Ec. 1.14 (Rodríguez, 1995, p. 332)

$$\begin{aligned} & \text{Eficiencia quim. de regeneración} \\ & = \frac{\text{Cantidad de regenerante dosificado} \times 100}{\text{Capacidad de Intercambio iónico}} \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.14}$$

1.11.2.5. *Capacidad de trabajo*

Parámetro radicado en el funcionamiento de la columna de intercambio iónico, se calcula con el producto entre, la dureza, el caudal y considerando un factor de seguridad del 1.25. Ec. 1.15

$$Cap = Q \times D \times fc \quad \text{Ec. 1.15}$$

1.11.2.6. *Expansión de la resina*

El porcentaje de expansión de las resina varía de acuerdo a su composición, si es catiónica o aniónica. La expansión es uno de los factores considerados en las fichas técnicas de las resinas, para su determinación es necesario conocer la altura total de la columna y la altura del lecho. Ec 1.16

$$\%E = \frac{H - h}{h} \quad \text{Ec. 1.16}$$

1.12. Evaluación del Impacto Ambiental

La evaluación del impacto ambiental, EIA, es un proceso que se encuentra ligado a otros, mediante los cuales se identifica los posibles efectos relevantes, sean positivos o negativos ocasionados al ambiente por un conjunto de actividades. Mediante la evaluación se identifican los efectos a corto y largo plazo, así como también se analizan las medidas de mitigación a los impactos negativos. (Pardo, 2002, p.216)

El EIA es en la actualidad un instrumento, empleado en procesos de gestión ambiental. Se lo aplica en la planificación inicial de proyectos, como también en los que se encuentran en ejecución. El EIA pretende estimar las causas y efectos que determinada acción ocasione a la calidad del ambiente. (Gómez & Gómez, 2013, p.195)

1.12.1. Matriz de Leopold

También llamada matriz causa-efecto, es un tipo de evaluación subjetiva cualitativa y cuantitativa. Para la elaboración de la matriz es necesario conocer las acciones o actividades implicadas en el proyecto o proceso a evaluar y los factores ambientales a los cuales estas actividades ocasionen un impacto; y disponerlos en un cuadro de doble entrada. (Pardo, 2002, p.138)

La cuadrícula con cada interacción obtenida es dividida por una diagonal, en la parte superior del recuadro se evaluará la magnitud M, del impacto en una escala del 1-10, precedido del signo + si es un impacto positivo o – si es negativo. En la parte inferior se toma en cuenta la importancia I, como incidencia, también calificado en una escala del 1-10. (Conesa, 2009, p.61)

Los resultados son evidenciados mediante la sumatoria de filas y columnas, la primera nos indica el o los factores ambientales afectados para considerarlos frágiles, mientras que la segunda nos da a conocer la agresividad de cada acción. (Conesa, 2009, p.61)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Muestreo

El agua, proviene de las captaciones a un conjunto de infiltraciones dentro de casa de máquinas, lugar donde opera la Central San Francisco. El agua captada es conducida y almacenada en el tanque denominado tanque de infiltraciones, lugar en donde se realiza la toma de muestras.

Las muestras son simples, ya que se toman en el tanque donde el agua a ser tratada es almacenada y se la recolectó en intervalos de una semana, es decir en un determinado tiempo.

Para la recolección de la muestra se han tomado en cuenta las consideraciones especificadas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2226:2000 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO”.

Previo la realización del muestreo se aseguró de contar con todos los materiales necesarios para el desarrollo de la actividad, tomando en cuenta el lugar en donde se recolectan las muestras y los parámetros a ser analizados in situ.

Las muestras se recolectaron en recipientes de vidrio de un litro para la caracterización inicial del agua, mientras que para la realización del tratamiento se recolectaron cuatro galones en recipientes de polietileno. Los recipientes utilizados son previamente lavados con agua destilada para evitar la

denominada contaminación cruzada y que los datos obtenidos sean únicamente del agua a ser tratada.

Se realizó la preparación de los recipientes, lo cual consistió en un enjuague con el agua a ser muestreada por lo menos de dos veces, posteriormente se toma la muestra real. Se llenó un registro de cada una de las muestras con la fecha en que fue la toma de la muestra para la determinación de la frecuencia.

Para la preservación de la muestra se utilizó la hielera lo cual nos garantiza temperaturas de 2 °C a 5 °C como la norma lo describe, para la conservación de la muestra y la obtención de resultados reales. Se tomó en cuenta que para el método de conservación los recipientes no se llenaron completamente, debido al fenómeno de expansión térmica que se puede dar durante el transporte de la muestra, desde el lugar de origen hasta el laboratorio donde se realizó el análisis.

2.2. Caracterización del agua

La caracterización se la realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se tomaron un total de tres muestras con intervalos de una semana, con el fin de verificar la variación de valores, realizar un promedio obteniendo así resultados representativos de la caracterización inicial del agua.

Existen parámetros que se analizaron el momento de la toma de muestras, ya que pueden variar en el transcurso del tiempo estos son: temperatura del agua, temperatura ambiente y pH; para lo cual se utilizó un medidor multiparamétrico de bolsillo, solo en el caso de la turbidez fue necesario el traslado de la muestra hasta el laboratorio para la medición en el equipo. Los resultados obtenidos se utilizaron para caracterizar en agua.

Los parámetros analizados y los métodos en los que fueron basados se describen a continuación en la Tabla 1-2

Tabla 1-2 Caracterización del agua

| Parámetro | Método |
|----------------------|----------------|
| pH | Electrométrico |
| Temperatura del agua | APHA 2550 B |
| Temperatura ambiente | APHA 2550 B |
| Conductividad | APHA 2510 |
| Turbidez | Nefelométrico |
| Dureza Total | APHA 2340 C |
| Calcio | APHA 3500 Ca-D |
| Magnesio | APHA 3500 Mg-E |
| Alcalinidad | APHA 2320 B |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

2.3. Índice de Langelier

El Índice de Langelier LSI, ha sido calculado para determinar si el agua a tratar posee características corrosivas o incrustantes. Para el cálculo se tomaron en cuenta las condiciones físicas y químicas del agua anteriormente determinadas; estas son: el pH, la temperatura del agua, la dureza y la alcalinidad, las tres últimas deben ser transformadas mediante factores previamente establecidos, los cuales están descritos en la Tabla 2-2.

Una vez determinados todos los factores necesarios pasamos al cálculo del Índice de Langelier LSI mediante la Ec.2.1

$$LSI = pH + TF + HF + AF - 12.5 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Dónde:

pH: es el pH que tiene el agua

TF: Factor de temperatura del agua

HF: Factor de la dureza

AF: Factor de alcalinidad

12.5: Sólidos totales disueltos.

Ya realizado el cálculo se procedió a la interpretación de los resultados.

Tabla 2-2 Tabla de Valores para el cálculo del LSI

| Temperatura | | Dureza | | Alcalinidad | |
|--------------------|-----------|---------------|-----------|--------------------|-----------|
| °C | TF | ppm | HF | ppm | AF |
| 0 | 0.0 | 5 | 0.7 | 5 | 0.7 |
| 4 | 0.1 | 25 | 1.4 | 25 | 1.4 |
| 8 | 0.2 | 50 | 1.7 | 50 | 1.7 |
| 12 | 0.3 | 75 | 1.9 | 75 | 1.9 |
| 16 | 0.4 | 100 | 2.0 | 100 | 2.0 |
| 20 | 0.5 | 150 | 2.2 | 150 | 2.2 |
| 24 | 0.6 | 200 | 2.3 | 200 | 2.3 |
| 28 | 0.7 | 250 | 2.4 | 250 | 2.4 |
| 32 | 0.7 | 300 | 2.5 | 300 | 2.5 |
| 36 | 0.8 | 400 | 2.6 | 400 | 2.6 |
| 40 | 0.9 | 500 | 2.7 | 500 | 2.7 |
| 50 | 1 | 1000 | 3.0 | 1000 | 3.0 |

Fuente: LENNTECH

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

2.4. Método para el Tratamiento de Agua

Para la aplicación del tratamiento al agua se analizó la caracterización inicial de la misma, tomando en cuenta el principal inconveniente identificado, el contenido de dureza, el cual excede los niveles recomendados por el fabricante de los equipos en los cuales el agua es usada.

Para la disminución de la dureza se aplicó el método de intercambio iónico, para lo cual se emplearon pruebas de laboratorio utilizando la resina catiónica Purolite C 100, la cual tiene como propiedad el intercambio de los iones calcio y magnesio por iones sodio, por lo tanto reduce la dureza total en el agua.

Se aplicó el método en columna, en donde emplearon lechos de resina catiónica, haciendo pasar en agua cruda por la parte superior de la columna y obteniendo el agua tratada por la parte inferior del sistema. La resina empleada en el tratamiento se encontraba activada.

Se realizaron un total de 4 pruebas, dos con 25g de resina y dos con 15g de resina, cada prueba con un determinado flujo de entrada y salida del agua. Cada 10 minutos se recolectaban muestras para la determinación de los análisis químicos anteriormente descritos.

Procedimiento

Para la prueba de laboratorio con 25 g de resina catiónica Purolite C 100 activada se realizó el siguiente procedimiento:

- Todos los materiales de laboratorio a ser utilizados en el diseño de la columna para tratamiento del agua tienen que estar previamente lavados.
- Se pesa en la balanza analítica 25g de resina catiónica Purolite C 100 activada
- Se añaden los 25g de resina catiónica Purolite C 100 previamente activada a la columna.

- Para la obtención de uniformidad del lecho de resina en la columna pasamos un flujo de agua destilada por el interior de la columna, hasta lograr un lecho compacto.
- El embudo de separación que contiene de agua a tratar, va en la parte superior del sistema, por medio de este se agregó el volumen de agua determinado, hasta llegar a la saturación de la resina.
- Se ajustó el caudal del sistema.
- Cada 10 minutos se tomaron muestras del agua tratada para el análisis de dureza total, dureza cálcica y alcalinidad. Se llevó un registro con los resultados obtenidos.
- Los resultados finales de dureza total, dureza cálcica y alcalinidad, son expresados calculando un promedio de las muestras tomadas. Se calculó y graficó los resultados obtenidos.

Para las pruebas con 15g de resina catiónica Purolite C 100 activada, se realizó el mismo procedimiento.

2.5. Cálculos

2.5.1. *Volumen de resina (Vr)*

El volumen de la resina se calculó por la diferencia entre el un volumen determinado de agua y el volumen que el cuerpo desaloja al introducirlo en un recipiente.

- Llenar la probeta con un determinado volumen de agua, registrar en volumen (Vo)
- Añadir la cantidad de resina elegida dentro de la probeta y registrar el nuevo dato de volumen (Vf)
- Se realiza el cálculo de la resina con la Ec. 2.2

$$Vr = Vf - Vo \quad \text{Ec. 2.2}$$

2.5.2. *Tiempo de ruptura catiónica (Tr)*

El tiempo de ruptura catiónica se determina con las gráficas de los resultados de dureza total, cálcica y magnésica obtenidos en el laboratorio, tomando en cuenta que el punto de ruptura es cuando se alcanza el nivel máximo recomendado de dureza que son los 60 ppm.

2.5.3. *Iones calcio y magnesio retenidos*

Se expresa como meq de cationes retenidos, se determina con la Ec.2.3

$$\text{meq de cationes retenidos} = Tr * Q * Co \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

Tr: tiempo de ruptura catiónica

Q: Caudal

Co: concentración inicial dureza total en meq/L

2.5.4. *Capacidad de Intercambio Catiónico (CI)*

Para el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico de la resina se utilizó la Ec.2.4

$$CI = \frac{\text{meq de cationes retenidos}}{Vr} \quad \text{Ec. 2.4}$$

2.6. Diseño del sistema de ablandamiento.

Para el diseño del sistema de ablandamiento por intercambio iónico del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco, se tomaron en cuenta los datos y resultados de los análisis químicos obtenidos de forma experimental en el laboratorio.

Se debe tomar en cuenta parámetros como el flujo de agua a tratar es 4.2 m³/h por cada sello, siendo el caudal total 8.4 m³/h para los dos sellos de cada unidad generadora, el sistema opera las 22 horas del día.

2.6.1. Iones calcio y magnesio a reducir por ciclo

Expresado como meq catiónicos a reducir se calcularon con la Ec. 2.5

$$\text{meq de cationes a reducir} = Q_t * \sum C_f \quad \text{Ec. 2.5}$$

Dónde:

Qt: caudal a tratar

Meq a reducir: Diferencia entre meq de cationes iniciales y meq de cationes retenidos.

2.6.2. Volumen de resina catiónica (Vrc)

La determinación del volumen de resina a utilizar se toma en cuenta la capacidad de intercambio catiónico que la resina posee. Se calculó con la Ec. 2.6

$$Vrc = \frac{\text{meq de cationes a reducir}}{CI} \quad \text{Ec. 2.6}$$

2.6.3. *Volumen de columna (Vc)*

Se analizó la presencia del fenómeno de expansión en todos los procesos hidrológicos, es por ello que se consideró un 25% de espacio para no tener inconvenientes con este fenómeno. El volumen de la columna se determinó con la Ec. 2.7

$$Vc = \frac{Vrc}{0.75} \quad \text{Ec. 2.7}$$

2.6.4. *Área de la columna (Ac)*

Se ha considerado un diámetro (D) de 0.8 m para el cálculo del área de la columna. Ec. 2.8

$$Ac = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad \text{Ec. 2.8}$$

2.6.5. *Altura de la columna (Hc)*

Con la Ec. 2.9 se procedió al cálculo de la altura de la columna.

$$Hc = \frac{Vc}{Ac} \quad \text{Ec. 2.9}$$

2.7. Cálculo de pérdidas en las tuberías

2.7.1. Pérdidas Primarias (h_f)

Las pérdidas primarias son las generadas por la fricción del agua con la superficie de la tubería que la conduce. Para el cálculo de h_f se aplica la Ec 2.10, y para la determinación de las variables que esta ecuación constituye es necesaria la aplicación de las ecuaciones 2.11, 2.13 y 2.13.

$$h_f = \frac{\lambda * L * V^2}{\phi_i * 2g} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

λ : Coeficiente de pérdidas por fricción

L: Longitud de la tubería

V: Velocidad

Φ_i : Diámetro interno de la tubería

- **Velocidad**

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Dónde:

Q: Caudal

A: Área

- **Rugosidad relativa**

$$Rr = \frac{\varepsilon}{\phi i} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Dónde:

ε : Coeficiente de rugosidad absoluta de la tubería

- **Número de Reynolds**

$$NRe = \frac{V * \rho * \phi i}{\mu} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Dónde:

ρ : densidad del agua

μ : Viscosidad dinámica

2.7.2. Pérdidas Secundarias (*hm*)

Son las pérdidas que producen los accesorios dispuestos a lo largo del sistema. Se calcula mediante la Ec. 2.14.

$$hm = \frac{K * V^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Dónde:

K: Sumatoria de las constantes de los accesorios.

2.7.3. *Pérdida Total (ht)*

Es la sumatoria de las pérdidas primarias y las secundarias, como se indica en la Ec. 2.15

$$ht = hf + hm \quad \text{Ec. 2.15}$$

La presión en el flujo de salida se calcula con la ecuación Ec. 2.16

$$P2 = \left(\frac{P1}{\gamma} - ht \right) * \gamma \quad \text{Ec. 2.16}$$

Dónde:

P1: Presión a la que el agua ingresa al sistema

γ : Peso específico del agua

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización del agua

La caracterización del agua previo el tratamiento incluye, análisis físicos, los cuales fueron determinados in situ y cuyos valores se detallan en la Tabla 1-3; En la Tabla 2-3 se muestran los resultados de los análisis químicos desarrollados en el laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Tabla 1-3 Caracterización del Agua – Análisis Físico

| N° Muestra | Fecha | T agua (C°) | T amb (C°) | Ph | Conductividad (µS/cm) | Turbidez (NTU) |
|------------|------------|-------------|------------|------|-----------------------|----------------|
| 1 | 11/11/2015 | 22,9 | 26,2 | 7,55 | 430 | 0,458 |
| 2 | 18/11/2015 | 22,7 | 24,8 | 7,43 | 380 | 0,574 |
| 3 | 25/11/2015 | 22,5 | 28,1 | 7,07 | 420 | 0,356 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

Tabla 2-3 Caracterización del Agua – Análisis Químico

| N° Muestra | Fecha | Dureza total (mg/L) | Dureza Cálcica (mg/L) | Dureza Magnésica (mg/L) | Calcio (mg/L) | Magnesio (mg/L) | Alcalinidad (mg/L) |
|------------|------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| 1 | 11/11/2015 | 192 | 112 | 80 | 44,8 | 19,44 | 100 |
| 2 | 18/11/2015 | 184 | 96 | 88 | 38,4 | 21,38 | 100 |
| 3 | 25/11/2015 | 200 | 96 | 104 | 38,4 | 25,27 | 120 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

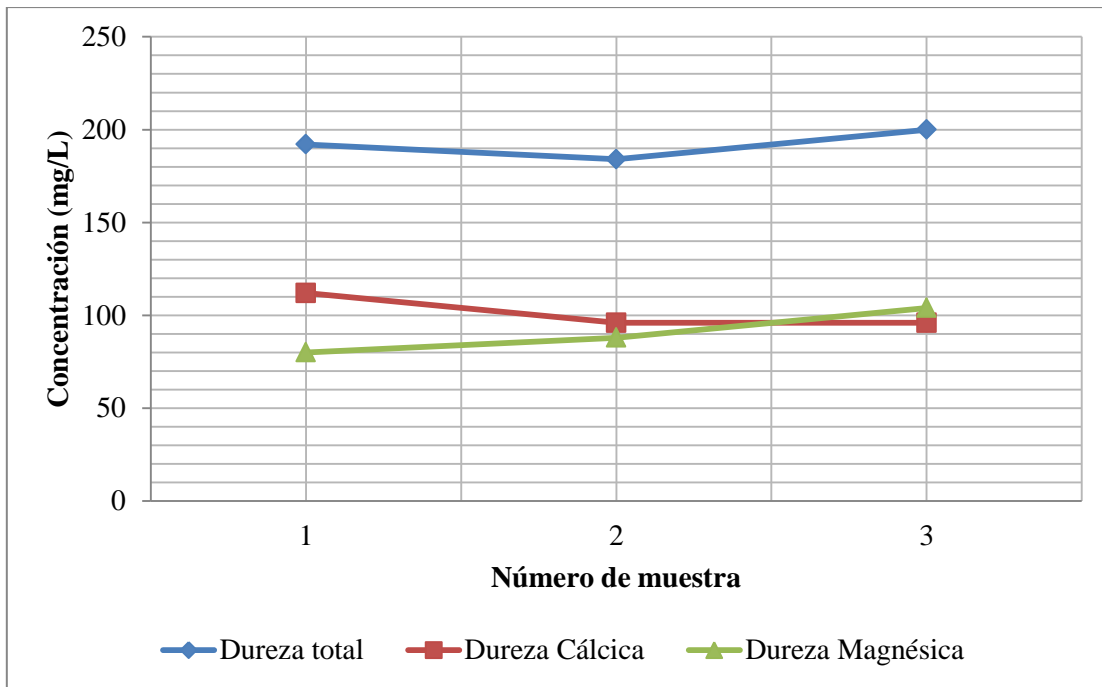


Figura 1-3 Concentraciones de Dureza total, Dureza Cálctica y Dureza Magnésica previo el tratamiento del agua

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Por la relación que existe entre parámetros, en la Figura 1-3 están representados los valores obtenidos de los análisis de Dureza Total, Cálctica y Magnésica de las tres muestras recolectadas, se observan datos por encima de los 80 mg/L, valor más bajo correspondiente a la dureza magnésica de la primera muestra. La dureza total es equivalente a la suma de la dureza cálctica y magnésica, por lo tanto, si solo el menor valor de la dureza magnésica registrado se encuentra fuera del recomendado, el valor de la dureza total se halla muy por encima del mismo.

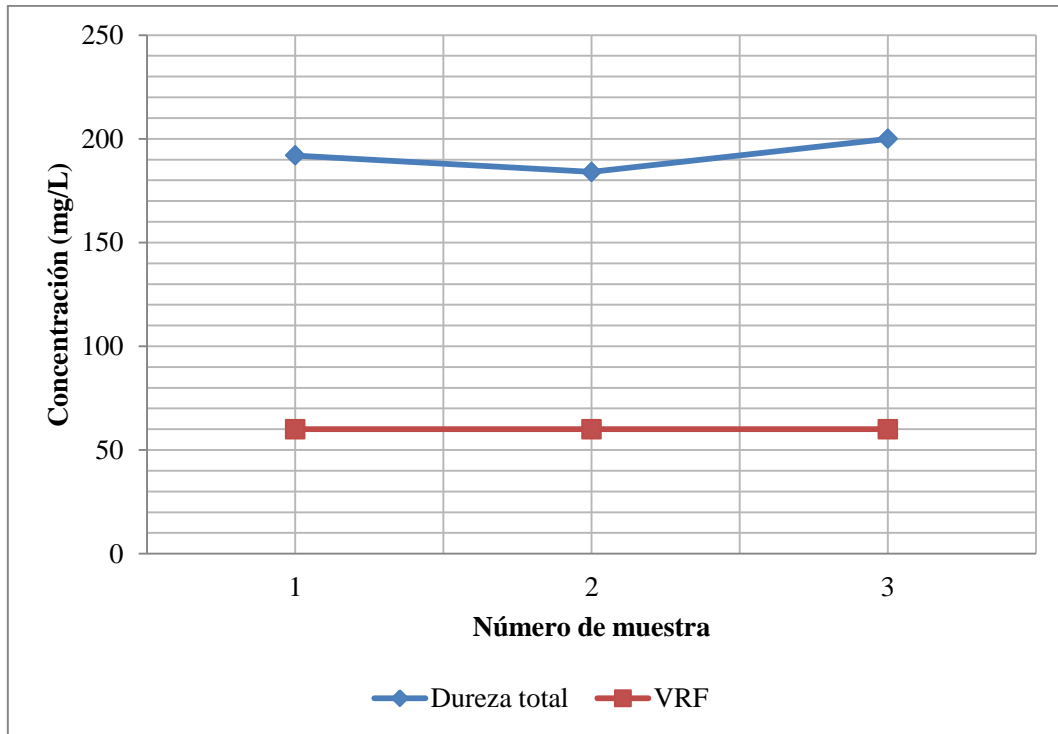


Figura 2-3 Concentraciones de Dureza total previo el tratamiento del agua y Valor recomendado por el fabricante (VRF).

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Según los valores obtenidos de dureza total del agua, se la ubica en la categoría de aguas moderadamente duras, esto es debido al origen de la misma, al ser agua proveniente de infiltraciones es mayor el contenido de los cationes responsables de la dureza, otorgándole esa característica al agua. Sin embargo para propósito final, la calidad del agua actualmente usada en el sello de eje no cumple con la principal especificación que es el de la dureza total, tal y como se muestra en la Figura 2-3. Con el análisis de los resultados obtenidos se sabe que está triplicando el valor máximo recomendado, valor de 60 ppm de Carbonato de Calcio para Dureza total que es recomendado para el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento del sello del eje de las turbinas de la Central.

En la caracterización física del agua no se encuentran valores fuera de los correspondientes a un agua de características normales, interpretando los resultados obtenidos y detallados en la Tabla 1-3, el pH indica que el agua de característica neutra, los bajos valores registrados de turbidez señalan que no hay mayor presencia de partículas en suspensión, los datos de conductividad no superan los 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo que quiere decir que la concentración de sólidos disueltos es promedio, por ende existe una resistencia a la transición de corriente eléctrica.

La temperatura ambiente va a influenciar a la temperatura del agua, ya que intervienen las características climáticas particulares de la región donde se encuentra situada la Central.

En la caracterización química se han analizados parámetros que se encuentren relacionados con la dureza del agua. Se observa en la Tabla 2-3 que hay poca variación de resultados entre las tres muestras recolectadas en las fechas indicadas. Los valores de la dureza total están entre los 184 y 200 mg/L de CaCO_3 , la dureza cálcica es determinada en el laboratorio mientras que la dureza magnésica es determinada matemáticamente.

Se realizó un promedio entre las tres muestras, para la obtención de resultados unificados, los mismos que se manifiestan en la Tabla 3-3. Se obtiene un valor promedio de 192 mg/L CaCO_3 para la dureza total.

Los valores descritos en la Tabla 3-3 son los que se van a considerar como los datos de caracterización inicial del agua de sellos, estos resultados son lo que van a ser utilizados para la realización de determinados cálculos matemáticos.

Tabla 3-3 Valores promedio de la caracterización fisicoquímica del agua previa el tratamiento.

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| T agua | °C | 22.7 |
| T amb | °C | 26.4 |
| pH | -- | 7.35 |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | 410 |
| Turbidez | NTU | 0.46 |
| Dureza Total CaCO ₃ | mg/L | 192 |
| Dureza Cálcica | mg/L | 101 |
| Dureza Magnésica | mg/L | 91 |
| Calcio | mg/L | 40.5 |
| Magnesio | mg/L | 22.03 |
| Alcalinidad CaCO ₃ | mg/L | 107 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.2. Índice de Langelier

El Índice de Langelier se calculó con los resultados de la caracterización inicial del agua que se indican en la Tabla 3-3 y con los factores de transformación para los parámetros de temperatura, dureza y alcalinidad de la Tabla 2-2.

Mediante la aplicación de la Ec 2.1 se determinó el LSI.

$$LSI = pH + TF + HF + AF - 12.5 \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$LSI = 7.4 + 0.6 + 2 + 2 - 12.5$$

$$LSI = -0.5$$

El valor obtenido del Índice de Langelier fue de -0.5 lo que significa que el agua actualmente utilizada posee un leve carácter corrosivo, es decir que no se encuentra saturada con Carbonatos de Calcio, por lo que tiende a desgastar o eliminar las láminas protectoras de Carbonato de Calcio de las tuberías, materiales y equipos con los que el agua se encuentra en constante contacto.

3.3. Tratamiento de Agua por intercambio iónico

Por medio de la caracterización inicial del agua en donde se pudo evidenciar que la Dureza Total se encuentra fuera de los valores recomendados por el fabricante de los equipos en los cuales el agua es empleada, se sugiere un tratamiento para mejorar la calidad de la misma, para no comprometer a los materiales y equipos a posteriores daños, así como también a las posibles fallas del sistema de enfriamiento de los sellos del eje de las turbinas de la Central.

Para el tratamiento de la disminución de la dureza en el agua, se usa el principio de ablandamiento por intercambio iónico, empleando la resina Purolite C 100 la cual cabe mencionar que se encontraba previamente activada con una solución de Cloruro de Sodio NaCl o sal en grano. La resina es catiónica, por lo que tiene la capacidad de intercambiar iones positivos, es de carácter ácido fuerte lo que le permite funcionar a cualquier valor de pH.

El sistema utilizado para el tratamiento del agua en el laboratorio se muestra en la Figura 3-3, en donde se realizó el montaje de la columna de intercambio iónico, sistema de tratamiento del agua para la reducción de la dureza con la resina catiónica Purolite C 100, con la ventaja de poder mantener el control del flujo y el volumen de agua tratada, por la parte superior ingresa el agua cruda y por la parte inferior obtenemos el agua tratada.

Para el tratamiento por intercambio iónico en el laboratorio, se realizaron un total de cuatro pruebas con lecho de resina en columna, dos de ellas con 25g de resina catiónica Purolite C 100 y las dos restantes con 15g de la misma resina. Las pruebas revelaron que a mayor cantidad de resina Purolite C 100 utilizada, mayor duración de la misma antes de llegar al punto de saturación, por lo tanto mayor es el volumen de agua tratada. En los cuatro casos se realizó la toma de muestras cada 10 minutos de tratamiento hasta la saturación de la resina.

Se realizó un promedio con los datos registrados de las dos primeras pruebas realizadas con un lecho de 25g de resina catiónica Purolite C 100. La Tabla 4-3 muestra los resultados de los análisis químicos realizados cada 10 minutos durante el tratamiento del agua por intercambio iónico. El tratamiento finaliza a las 4 horas con 10 minutos, tiempo en el cual ocurre la saturación de la resina.



Figura 3-3 Tratamiento del agua por intercambio iónico con resina Purolite C 100 en el laboratorio.

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

Tabla 4-3 Resultados de los análisis químicos del agua después del tratamiento con 25g de resina catiónica Purolite C 100.

| Tiempo | Dureza Total CaCO₃ (mg/L) | Dureza Cálcica (mg/L) | Dureza Magnésica (mg/L) | Alcalinidad CaCO₃ (mg/L) |
|---------------|---|--------------------------------------|--|--|
| 10" | 20 | 16 | 4 | 100 |
| 20" | 16 | 16 | 0 | 90 |
| 30" | 16 | 16 | 0 | 90 |
| 40" | 12 | 12 | 0 | 100 |
| 50" | 8 | 8 | 0 | 100 |
| 1' | 12 | 8 | 4 | 100 |
| 1'10" | 12 | 8 | 4 | 90 |
| 1'20" | 16 | 12 | 4 | 110 |
| 1'30" | 20 | 12 | 8 | 100 |
| 1'40" | 20 | 20 | 0 | 100 |
| 1'50" | 28 | 24 | 4 | 100 |
| 2' | 28 | 24 | 4 | 100 |
| 2'10" | 36 | 28 | 8 | 90 |
| 2'20" | 44 | 40 | 4 | 80 |
| 2'30" | 80 | 52 | 28 | 100 |
| 2'40" | 108 | 56 | 52 | 100 |
| 2'50" | 136 | 64 | 72 | 110 |
| 3' | 160 | 80 | 80 | 100 |
| 3'10" | 160 | 84 | 76 | 90 |
| 3'20" | 176 | 92 | 84 | 100 |
| 3'30" | 180 | 100 | 80 | 100 |
| 3'40" | 180 | 104 | 76 | 90 |
| 3'50" | 196 | 112 | 84 | 100 |
| 4' | 204 | 116 | 88 | 90 |
| 4'10" | 208 | 120 | 88 | 100 |
| 4'20" | 212 | 120 | 92 | 100 |
| 4'30" | 216 | 120 | 96 | 100 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

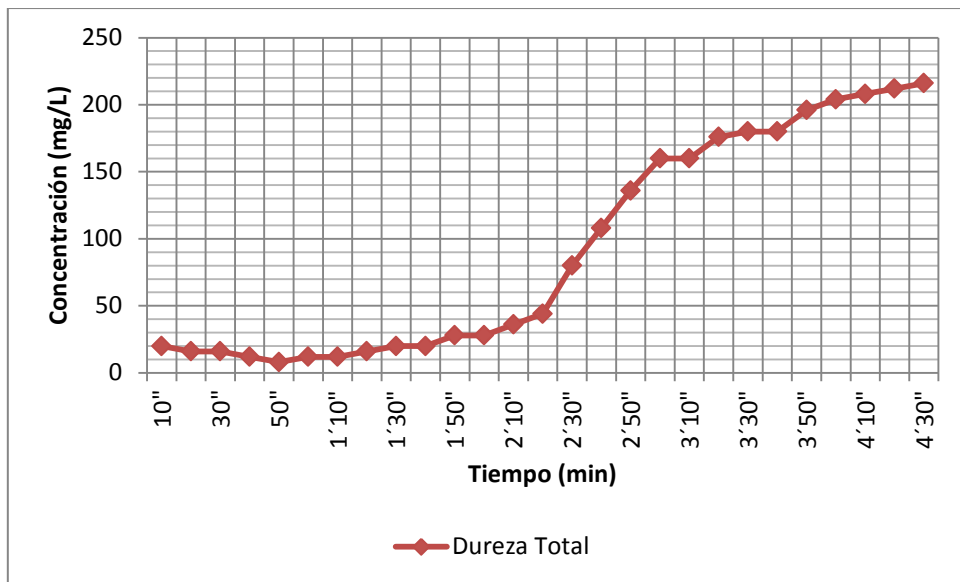


Figura 4-3 Concentración de Dureza Total durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

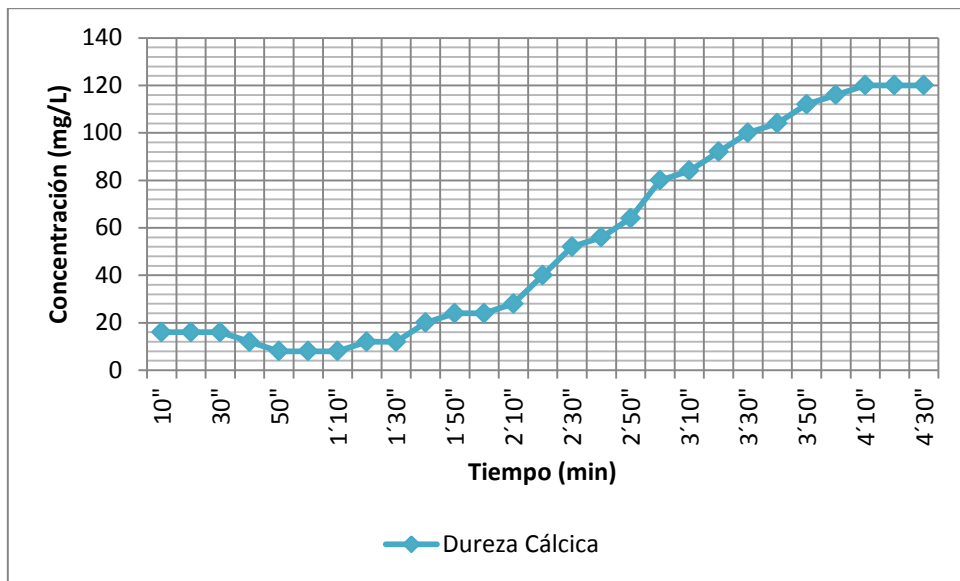


Figura 5-3 Concentración de Dureza Cálcica durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

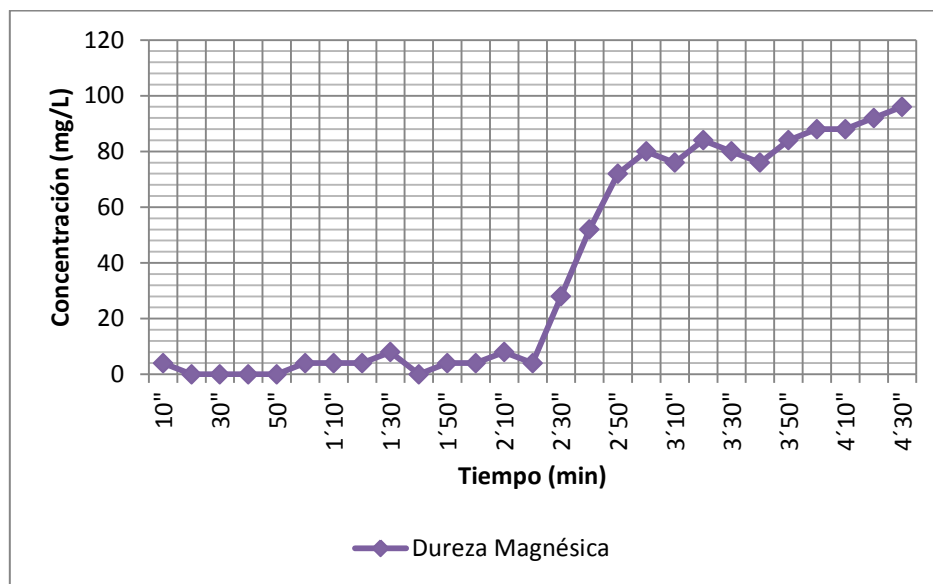


Figura 6-3 Concentración de Dureza Magnésica durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

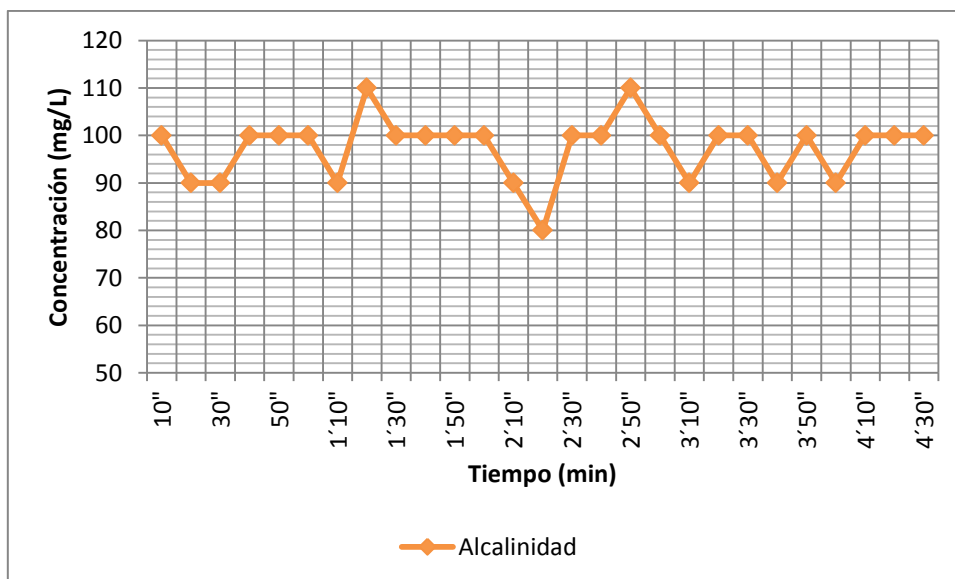


Figura 7-3 Concentración de Alcalinidad durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Como se puede verificar en la Tabla 4-3 el tiempo de saturación del lecho con 25g de resina catiónica Purolite C 100 ocurre a las 4 horas con 30 minutos, tiempo en el cual la dureza total del agua tratada alcanza los 216 mg/L de CaCO₃, con un volumen aproximado de 3.755 L de agua tratada. En la Figura 4-3 donde se grafican los resultados se logra visualizar cómo evoluciona la concentración de dureza del agua tratada en el transcurso del tiempo, permanece constante hasta las 2 horas con 20 minutos tiempo en el cual la dureza se mantiene bajo los 50 mg/L, cumpliendo con el valor recomendado por el fabricante. La dureza aumenta a partir de las 2 horas con 30 minutos, tal y como se puede apreciar en la representación gráfica.

Las pruebas realizadas con los 15g de resina catiónica Purolite C 100 obtuvieron como resultados promedio los mencionados en la Tabla 5-3, donde se identifica que el tiempo de saturación de la resina sucede a las 4 horas con 10 minutos de tratamiento, tiempo en el cual se ha tratado 2.375 L de agua, alcanzando en este tiempo una dureza total de 208 mg/L. A las 2 horas con 20 minutos la dureza tiene un valor de 52 mg/L, 32 mg/L para la dureza cálcica y 20 mg/L para la magnésica, mientras que la concentración de alcalinidad no tiene notables varianzas durante el tratamiento del agua, se mantiene entre valores de 110 y 90 mg/L.

Cabe mencionar que en las pruebas realizadas con los 25 y 15g de resina catiónica Purolite C 100 se ajustó un caudal de 20 mL/min, por lo tanto las diferencias de volumen de agua tratada y tiempo de saturación de la resina se las confiere a la cantidad de resina utilizada en el lecho de la columna para el ablandamiento del agua por intercambio iónico.

De las pruebas realizadas, se ha tomado en consideración el tiempo y el costo de la resina, empleados para la ejecución del tratamiento del agua en el laboratorio, seleccionado de esta manera los resultados obtenidos del tratamiento por intercambio iónico en columna con un lecho de 15g de resina catiónica Purolite C 100.

Tabla 5-3 Resultados de los análisis químicos del agua después del tratamiento con 15g de resina catiónica Purolite C 100.

| Tiempo | Dureza Total CaCO ₃ (mg/L) | Dureza Cálcica (mg/L) | Dureza Magnésica (mg/L) | Alcalinidad CaCO ₃ (mg/L) |
|--------|--|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 10" | 20 | 16 | 4 | 110 |
| 20" | 16 | 16 | 0 | 100 |
| 30" | 16 | 16 | 0 | 100 |
| 40" | 16 | 12 | 4 | 110 |
| 50" | 12 | 12 | 0 | 110 |
| 1´ | 8 | 8 | 0 | 100 |
| 1´10" | 8 | 8 | 0 | 100 |
| 1´20" | 12 | 8 | 4 | 100 |
| 1´30" | 16 | 12 | 4 | 100 |
| 1´40" | 20 | 12 | 8 | 100 |
| 1´50" | 28 | 16 | 12 | 90 |
| 2´ | 28 | 20 | 8 | 90 |
| 2´10" | 36 | 28 | 8 | 90 |
| 2´20" | 52 | 32 | 20 | 100 |
| 2´30" | 68 | 40 | 28 | 100 |
| 2´40" | 84 | 48 | 36 | 100 |
| 2´50" | 96 | 56 | 40 | 110 |
| 3´ | 108 | 68 | 40 | 110 |
| 3´10" | 140 | 76 | 64 | 110 |
| 3´20" | 156 | 84 | 72 | 110 |
| 3´30" | 164 | 88 | 76 | 110 |
| 3´40" | 176 | 100 | 76 | 90 |
| 3´50" | 180 | 104 | 76 | 90 |
| 4´ | 196 | 112 | 84 | 100 |
| 4´10" | 208 | 120 | 88 | 100 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

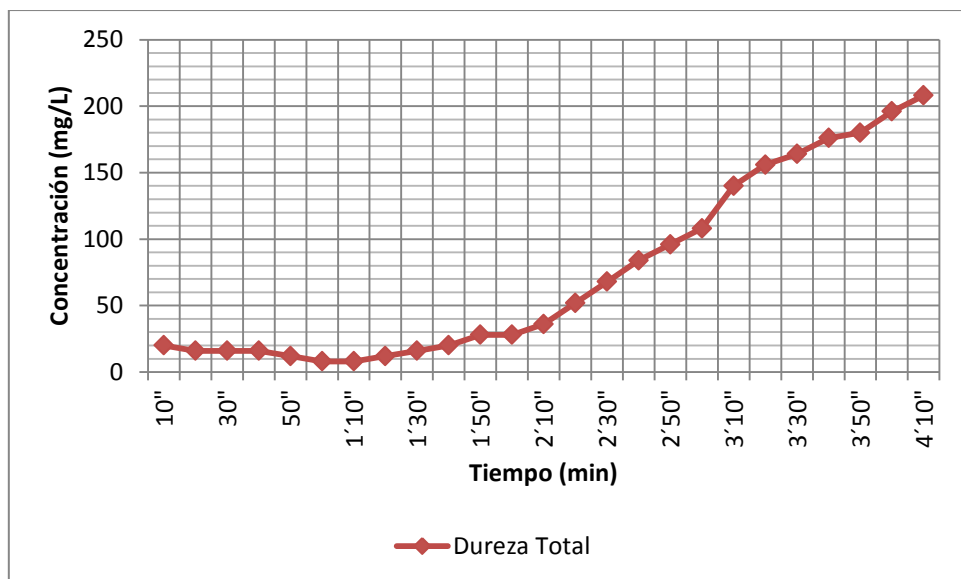


Figura 8-3 Concentración de Dureza Total en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

La Figura 8-3 correspondiente a la variación de la dureza total en el transcurso del tratamiento, se observa la notable disminución este parámetro en el agua al poco tiempo de contacto con la resina catiónica Purolite C 100. La concentración es constante hasta llegar a las 2 horas de tratamiento, a partir de las 2 horas 30 minutos la concentración de dureza aumenta hasta llegar a los 208 mg/L a las 4 horas con 10 minutos, en donde se verifica que la dureza total alcanza las concentraciones iniciales, lo que indica que la resina ha perdido su capacidad de intercambio llegando a la saturación de la misma.

La sumatoria de la dureza cálcica y magnésica da como resultado la dureza total, la misma que para estar dentro del valor recomendado por el fabricante no debe superar los 60 ppm de CaCO_3 , es este valor límite de concentración de dureza total que se considera para determinar el tiempo de ruptura.

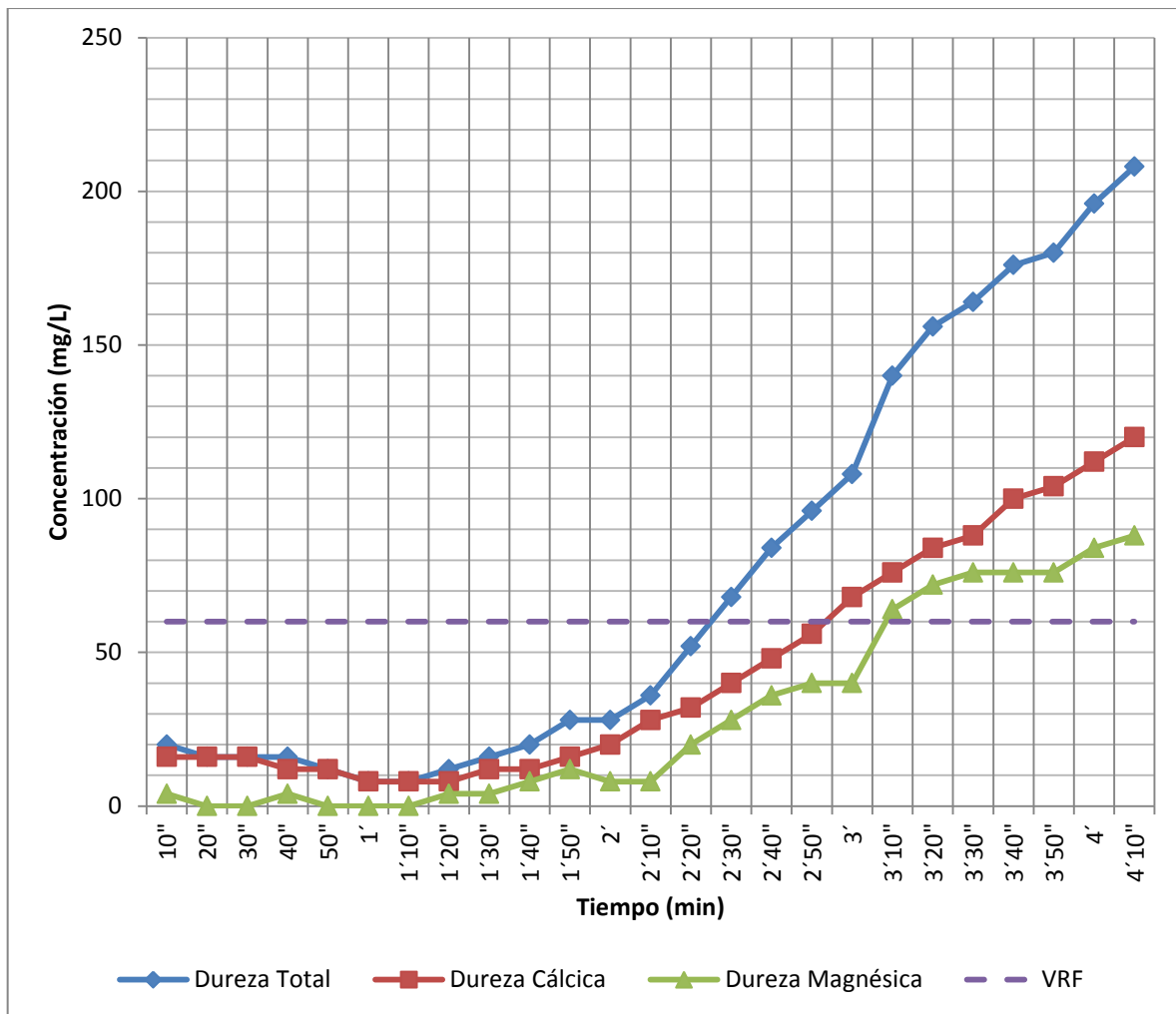


Figura 9-3 Ruptura de Dureza total, Dureza cálcica y Dureza magnésica durante el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

En la Figura 9-3 se puede identificar que el valor más cercano a la concentración de dureza total recomendada ocurre a las 2 horas 20 minutos del tratamiento por intercambio iónico con la resina Purolite C 100, donde la dureza total es de 52 mg/L, la dureza cálcica 32 mg/L y 20 mg/L para la dureza magnésica. Por lo tanto el tiempo de ruptura es de 140 min.

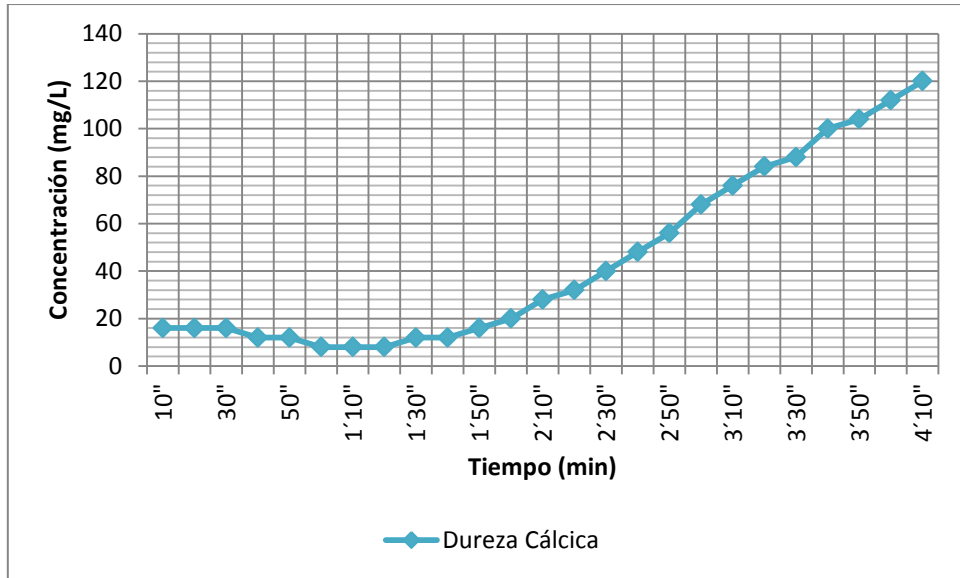


Figura 10-3 Concentración de Dureza Cálctica en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100
 Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

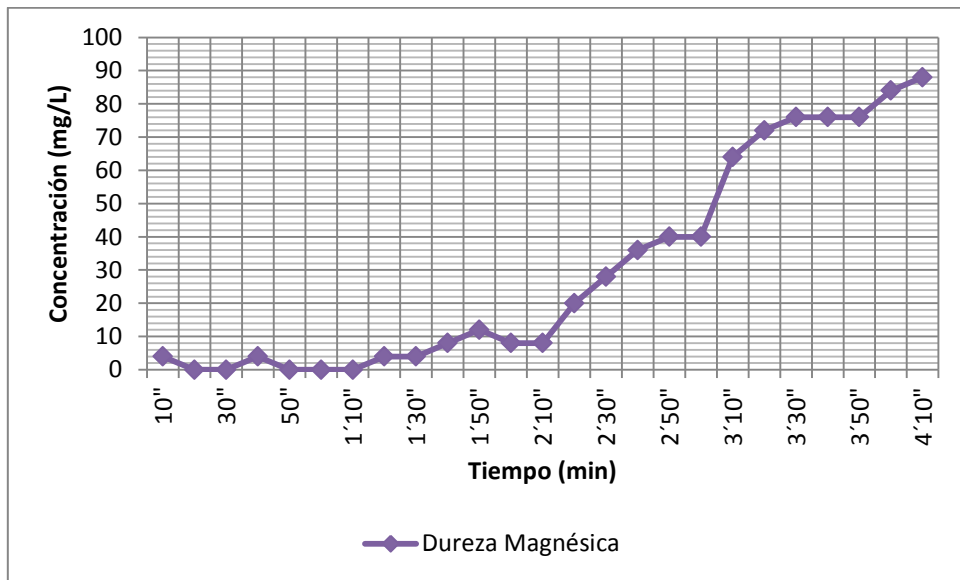


Figura 11-3 Concentración de Dureza Magnésica en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100
 Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

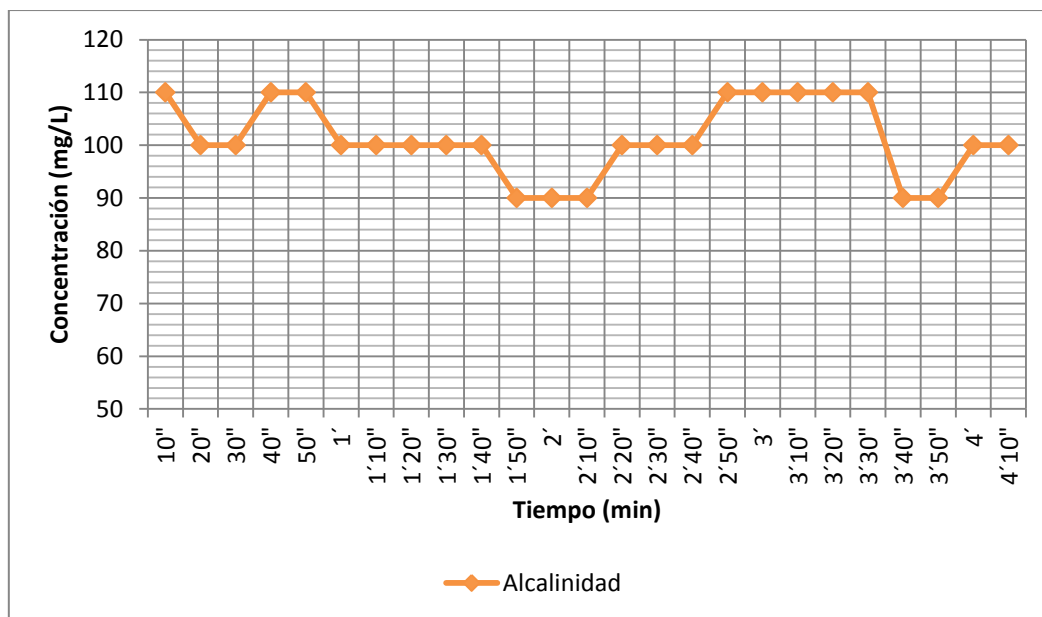


Figura 12-3 Concentración de Alcalinidad en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

La Figura 10-3 indica la evolución de la concentración de dureza cálcica en el agua durante el proceso de intercambio iónico por medio de la resina catiónica Purolite C 100, en la gráfica se puede identificar variaciones de concentraciones a partir de la hora 2 con 30 minutos, a partir de este tiempo los datos crecen significativamente hasta llegar a un valor de 120 mg/L de concentración de dureza de calcio en la hora 4 con 10 minutos, donde se finaliza la operación.

La concentración de dureza magnésica está representada en la Figura 11-3, donde se puede ver la representación gráfica de los datos obtenidos con los análisis químicos realizados en el laboratorio. En las dos figuras antes mencionadas se observan valores constantes desde el inicio del tratamiento por intercambio iónico con resina Purolite C 100 hasta llegar a las 2 horas con 10 minutos, pasado este tiempo los valores grafican una curva creciente.

Por medio de los análisis de laboratorio se verifico que no exista una variación en la concentración de alcalinidad tan y como se muestra en la Figura 12-3, se observa que la alcalinidad del agua en el

transcurso del tratamiento tiene valores entre los 110 y 90 mg/L, lo que indica que este parámetro no interviene en el proceso de intercambio iónico.

3.4. Cálculos

Mediante el tratamiento del agua por la columna de intercambio iónico con la resina Purolite C 100 desarrollado en el laboratorio se logró establecer un conjunto de datos los cuales nos van a ser útiles para el diseño del sistema de ablandamiento en la Central.

En la Tabla 6-3 se resumen las concentraciones iniciales de Ca y Mg como CaCO₃ y MgCO₃ respectivamente; las concentraciones finales de los cationes antes mencionados se obtuvieron mediante la diferencia entre las concentraciones iniciales y los valores obtenidos en el tiempo de ruptura determinado con las pruebas de laboratorio.

Tabla 6-3 Concentraciones iniciales y finales de los cationes.

| Concentraciones | Ca (CaCO ₃) mg/L | meq/L | Mg (MgCO ₃) mg/L | meq/L |
|-----------------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| Co | 101 | 2,02 | 91 | 2,16 |
| Cf | 69 | 1,38 | 71 | 1,68 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.4.1. Volumen de resina (Vr)

$$Vr = Vf - Vo \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$Vr = (163 - 150)mL$$

$$Vr = 13 mL$$

3.4.2. *Tiempo de ruptura catiónica (Tr)*

El tiempo de ruptura es de 140 min, valor que fue identificado en la Figura 9-3.

3.4.3. *Iones Calcio y Magnesio retenidos*

Los meq/L de la Co resultan de la sumatoria de la concentración inicial de Ca y Mg detallados en la Tabla 6-3.

$$\text{meq de cationes retenidos} = Tr * Q * Co \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\text{meq de cationes retenidos} = 140 \text{ min} * 20 \frac{\text{mL}}{\text{min}} * 4.18 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}$$

$$\text{meq de cationes retenidos} = 11.696 \text{ meq}$$

3.4.4. *Capacidad de intercambio catiónico*

$$CI = \frac{\text{meq de cationes retenidos}}{Vr} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$CI = \frac{11.696 \text{ meq}}{13 \text{ mL}}$$

$$CI = 0.900 \frac{\text{meq}}{\text{mL}}$$

En la Tabla 7-3 se resumen las condiciones iniciales para el diseño del tratamiento de ablandamiento del agua por intercambio iónico, fueron determinadas mediante las pruebas de laboratorio seleccionadas con 15g de resina catiónica Purolite C 100. Se pueden observar datos

como los 11.696 meq de cationes Calcio y Magnesio retenidos por la resina durante el tratamiento hasta alcanzar los 140 min con un caudal de 20 mL/min.

En la ficha técnica de la resina catiónica Purolite C 100, la capacidad de intercambio iónico teórica es de 2 meq/mL, mientras que al realizar las pruebas la capacidad práctica calculada es de 0.9 meq/mL Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Resultados obtenidos del tratamiento por intercambio iónico en el laboratorio.

| Condiciones iniciales | Valor | Unidad |
|----------------------------------|--------------|------------------|
| Q | 20 | mL/min |
| Vr | 13 | mL |
| Tr | 140 | min |
| meq de cationes retenidos | 11.696 | meq |
| CI | 0.900 | meq/mL de resina |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.5. Diseño del sistema de ablandamiento

La Figura 13-3 representa el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de ablandamiento del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco. El sistema inicia cuando el agua que se encuentra almacenada en el tanque de infiltraciones es succionada por tres bombas dispuestas en paralelo, el agua es conducida hasta un sistema de filtración de sedimentos, mediante el cual se garantiza la detención de partículas en suspensión presentes en el agua. El sistema de filtración dispone de dos filtros, los cuales trabajan alternando su funcionamiento y su proceso de regeneración.

Después del proceso de filtración el agua pasa a los dos ablandadores, los mismos que funcionan en paralelo con el fin de aprovechar al máximo la cantidad de resina, por lo tanto el caudal total se divide para dos, de esta manera se asegura la disminución de la dureza del agua por medio del intercambio iónico con la resina catiónica Purolite C 100 contenida en los ablandadores, la cual retiene los iones calcio y magnesio, optimizando la calidad del agua y asegurando que ingrese con los valores de dureza recomendados por el fabricante, al sistema de enfriamiento de sellos.

Como las pruebas lo demostraron la resina tiene un tiempo de saturación y para que vuelva a cumplir con su objetivo de intercambio catiónico es necesario un proceso de regeneración, para la recuperación de la capacidad de intercambio de la resina es necesario un lavado a contra corriente con una solución al 10 % de cloruro de sodio NaCl, esta solución es almacenada en el tanque de salmuera. Cada ablandador debe pasar por este proceso, mientras un ablandador está en recuperación el otro asume todo el caudal para asegurar el abastecimiento de agua a los sellos. Para el proceso mencionado se ha pronosticado una duración de dos horas. Finalmente el agua tratada es conducida a los sellos de cada unidad generadora.

En el transcurso del tratamiento del agua es necesaria la verificación de la presión, por ello se han colocado manómetros a lo largo del sistema, así como también un conjunto de válvulas para el control del flujo de agua.

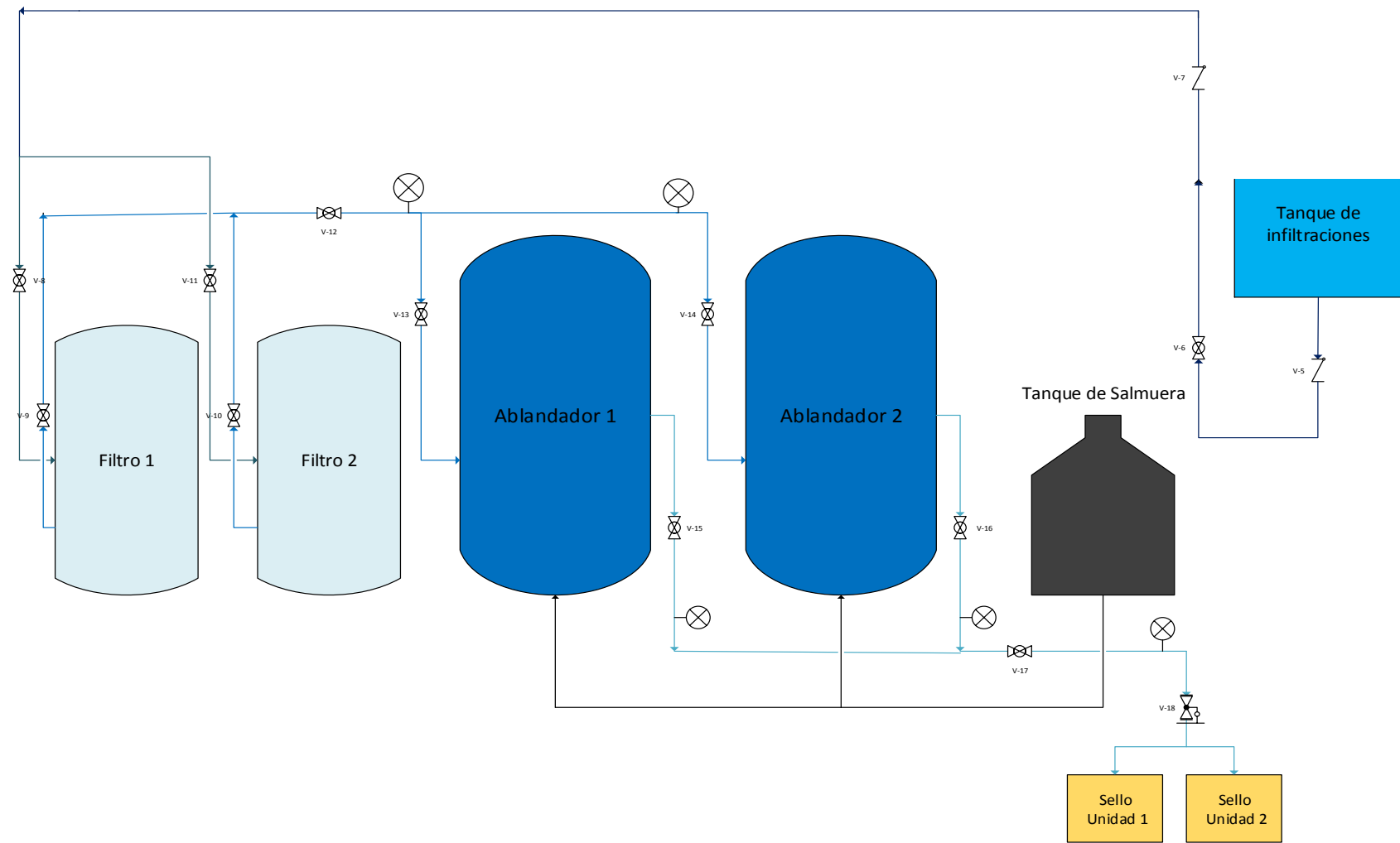


Figura 13-3 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de ablandamiento del agua de sellos de la Central San Francisco
 Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.5.1. *Iones calcio y magnesio a reducir por ciclo*

El cálculo de los cationes responsables de la dureza a reducir involucra el caudal por ciclo de agua a tratar, para lo cual se ha tomado en consideración el máximo caudal de ingreso al ablandador que es 8,4 m³/h y la sumatoria de las concentraciones finales de calcio y magnesio determinadas con las pruebas de laboratorio de la Tabla 6-3

$$\text{meq de cationes a reducir} = Qt * \sum Cf \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$\text{meq de cationes a reducir} = 8,400 \frac{L}{h} * 3.06 \frac{\text{meq}}{L} * 22 \frac{h}{\text{ciclo}}$$

$$\text{meq de cationes a reducir} = 566036 \frac{\text{meq}}{\text{ciclo}}$$

3.5.2. *Volumen de la resina catiónica (Vrc)*

Una vez conocida la concentración de iones calcio y magnesio a reducir por el sistema de intercambio iónico y la capacidad de intercambio iónico Tabla 7-3, es necesario calcular el volumen de resina que se requiere para dicha reducción.

$$Vrc = \frac{\text{meq de cationes a reducir}}{CI} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$Vrc = \frac{566036 \text{ meq}}{0.900 \frac{\text{meq}}{\text{mL resina}}} * \frac{1L}{1000 \text{ mL}} * \frac{1m^3}{1000 L} * \frac{1ft^3}{0.3048^3 m^3}$$

$$Vrc = 22.219 \text{ ft}^3$$

3.5.3. *Volumen de la columna (Vc)*

El valor de 0.75 es en consideración a lo 25% del espacio libre de la columna que se considera para la expansión de la resina al entrar en contacto con el agua.

$$Vc = \frac{Vrc}{0.75} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$Vc = \frac{0.63m^3}{0.75}$$

$$Vc = 0.839m^3$$

3.5.4. *Área de la columna*

Los 0.8m de diámetro, ha sido asumido en función de la disponibilidad del espacio en donde se pretende realizar el montaje del sistema de ablandamiento en la Central San Francisco.

$$Ac = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$Ac = \frac{\pi}{4} * (0.8m)^2$$

$$Ac = 0.503 m^2$$

3.5.5. *Altura de la columna*

$$Hc = \frac{Vc}{Ac} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$Hc = \frac{0.839m^3}{0.503 m^2}$$

$$Hc = 1.669 m$$

Tabla 8-3 Datos para el diseño del sistema de ablandamiento del agua de sellos en la Central San Francisco

| Datos diseño | Valor | Unidad |
|-------------------------|--------|-----------------|
| Qt | 8400 | L/h |
| Ciclo | 22 | h |
| Iones Ca y Mg a reducir | 566036 | meq/ciclo |
| Vrc | 22.219 | ft ³ |
| Vc | 0.839 | m ³ |
| Ac | 0.503 | m ² |
| Hc | 1.669 | m |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Los datos para el diseño de los ablandadores para el tratamiento del agua de sellos de la Central San Francisco se resumen en la Tabla 8-3 en donde se considera el caudal del agua que abastece al sistema de enfriamiento de sellos, se puede apreciar 566036 la cantidad de iones calcio y magnesio que son reducidos por la resina en el ciclo de operación de los ablandadores.

Para el diseño de sistema de ablandamiento del agua del volumen total de resina a emplearse en el sistema es de 22.219 ft³ y la altura de la columna es de 1.669 m.

3.6. Cálculo de pérdidas en las tuberías

En la Tabla 9-3 se muestran los datos necesarios para el cálculo de las pérdidas en las tuberías. Los datos de densidad, peso específico y viscosidad dinámica del agua se las determinan de acuerdo a las propiedades del agua a distintas temperaturas, la temperatura de agua de sellos es de 22 °C, por lo que se seleccionan los valores a 25°C. El valor de 5.7 bar de presión de ingreso al sistema de ablandamiento, ha sido determinado en informes pertenecientes a la empresa.

La tubería recomendada para la implementación del sistema de ablandamiento es, de Acero Inoxidable AISI 304, SCH 40 de 2”, el diámetro interno de la tubería se lo obtiene en las tablas de dimensiones de tubos del acero inoxidable calibre 40.

La longitud ha sido estimada de acuerdo al espacio disponible para la implementación del sistema de ablandamiento del agua en la Central San Francisco.

Tabla 9-3 Datos para el cálculo de pérdidas en las tuberías.

| Datos | Valor | Unidad |
|--------------|--------------|-------------------|
| Q | 8.4 | m ³ /h |
| P | 5.7 | bar |
| L | 16.5 | m |
| D | 2 | “ |
| ε | 0.000046 | m |
| μ | 0.000891 | Pa.s |
| ρ | 997 | Kg/m ³ |
| γ | 9780 | N/ m ³ |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.6.1. Pérdidas Primarias (hf)

- **Velocidad**

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$V = \frac{8.4 \frac{m^3}{h}}{\frac{\pi}{4} * (0.053m)^2} * \frac{1h}{3600 s}$$

$$V = 1.08 \frac{m}{s}$$

- **Rugosidad relativa**

$$Rr = \frac{\varepsilon}{\phi i} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$Rr = \frac{0.000046m}{0.053 m}$$

$$Rr = 8.68x10^{-4}$$

- **Número de Reynolds**

$$NRe = \frac{V * \rho * \phi i}{\mu} \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$NRe = \frac{1.08 \frac{m}{s} * 997 \frac{Kg}{m^3} * 0.053 m}{0.000891 Pa.s}$$

$$NRe = 6.4 \times 10^{-4}$$

Para la obtención del coeficiente de pérdida por fricción se emplea el Diagrama de Moody y los valores obtenidos de rugosidad relativa y número de Reynolds.

$$hf = \frac{\lambda * L * V^2}{\phi i * 2g} \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$hf = \frac{0.023 * 16.5\text{m} * \left(1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.053 \text{ m} * 2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hf = 0.43 \text{ m}$$

3.6.2. *Pérdidas Secundarias (hm)*

Las pérdidas secundarias son las que generan los accesorios que están en contacto con el flujo de agua. Para cada tipo de accesorio existe un valor constante determinado, para obtener el valor total se identificó la cantidad y tipo de accesorios, como se describe en la Tabla 10-3.

Además se tomó en cuenta la entrada del flujo al sistema donde también existe pérdida, para la obtención de la constante global se realiza la sumatoria de todas las constantes multiplicadas por la cantidad de accesorios.

Tabla 10-3 Listado de accesorios para el sistema de ablandamiento

| Cantidad | Accesorios | K individual | K |
|----------|------------------|--------------|-------|
| 1 | Entrada | 0,5 | 0,5 |
| 26 | Codos 90° | 0,9 | 23,4 |
| 8 | Tee | 1,8 | 14,4 |
| 10 | Válvula esférica | 10 | 100 |
| 2 | Válvula check | 2 | 4 |
| | | Kt= | 142,3 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

$$hm = \frac{Kt * V^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$hm = \frac{142.3 * \left(1.08 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$hm = 8.47m$$

3.6.3. Pérdida Total (ht)

$$ht = hf + hm \quad \text{Ec. 2.15}$$

$$ht = 0.43m + 8.47m$$

$$ht = 8.90m$$

Para que el agua cumpla con su función de presurizar, debe ser suministrada a una mayor presión que la que hay en la cámara interior de los sellos.

Se determinó la presión del flujo de agua a la salida del sistema de ablandamiento con la Ecuación 2.16. La cual nos permite conocer el valor de la presión y que la misma cumpla con determinadas condiciones de presión al ingreso a los sellos.

$$P2 = \left(\frac{P1}{\gamma} - ht \right) * \gamma \quad \text{Ec. 2.16}$$

$$P2 = \left(\frac{570000 \text{ Pa}}{9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} - 8.90 \text{ m} \right) * 9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$P2 = 482958 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ bar}}{100000 \text{ Pa}}$$

$$P2 = 4.83 \text{ bar}$$

3.7. Selección de equipos

Se procedió a la cotización en el mercado de equipos que cumplan con las especificaciones y condiciones establecidas y determinadas en los numerales anteriores.

- **Filtros**

Filtro de alto rendimiento comercial (CSM™)

Marca: Culligan

Modelo: CSM

Serie: 242D



Figura 14-3 Filtros The Culligan Side Mount (CSM™) Series. Heavy-duty water filter System

Fuente: Culligan Matrix Solutions

Los filtros se han seleccionado de acuerdo a los 8.4 m³/h, caudal que ingresa al tratamiento por filtrado, el flujo máximo de servicio de este equipo es de 10.9 m³/h, lo que garantiza el abastecimiento de agua en el proceso. La presión con la que es suministrada en agua al sistema es de 570 kPa, es por ello que también se han tomado en cuenta las especificaciones técnicas del equipo donde se establece un rango de presión de 207–690 kPa.

- **Ablandadores**

Ablandador (CSM™)

Marca: Culligan

Modelo: CSM

Serie: 600-2



Figura 15-3 Ablandadores The Culligan Side Mount (CSM™) Series. Water Softener System

Fuente: Culligan Matrix Solutions

Para la selección de los ablandadores se debe tomar en cuenta el volumen de la resina, en este caso el volumen calculado fue de 22 ft^3 y el equipo seleccionado tiene la capacidad para 20 ft^3 . Si bien los ablandadores trabajan en paralelo, se tomó en cuenta el caudal máximo a tratar por cada uno que es de $8.4 \text{ m}^3/\text{h}$. el flujo de trabajo del equipo es de $21.3 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.8. Costos de implementación.

Tabla 41-3 Costeo de la implementación del sistema de ablandamiento.

| Cantidad | Descripción | Precio Unidad | Precio total |
|-----------------|--|----------------------|----------------------|
| 2 | Filtro de alto rendimiento comercial (CSM™) 242D | \$ 19.519,16 | \$ 39.038,32 |
| 1 | Culligan GBE Standard Communication Cable. --2165 | \$ 120,26 | \$ 120,26 |
| 2 | 2" NPT Stainless Steel Flow Meter Assembly --7948 | \$ 1.248,61 | \$ 2.497,22 |
| 2 | Ablandador (CSM™) 600-2 | \$ 18.552,25 | \$ 37.104,50 |
| 1 | Brine System with 30"x50" Tank, 3/4" Valve and 1400 lb Salt Capacity--2509 | \$ 1.659,96 | \$ 1.659,96 |
| 1 | Culligan GBE Standard Communication Cable. --2165 | \$ 120,26 | \$ 120,26 |
| 2 | 2" NPT Stainless Steel Flow Meter Assembly --7948 | \$ 1.248,61 | \$ 2.497,22 |
| 1 | Brida INOX AISI 304, SCH40 (2") | \$ 312,40 | \$ 312,40 |
| 1 | Reducción INOX AISI 304 , SCH 40 (2" x 1 1/2") | \$ 191,30 | \$ 191,30 |
| 26 | Codo INOX AISI 304, SCH 40 (90° X 2") | \$ 100,60 | \$ 2.615,60 |
| 8 | Tee INOX AISI 304, SCH 40 (2") | \$ 101,10 | \$ 808,80 |
| 10 | Válvula Esférica INOX AISI 304, SCH 40 (2") | \$ 329,36 | \$ 3.293,60 |
| 20 | Tubo INOX AISI 304, SCH 40 (2"x 6m) | \$ 456,34 | \$ 9.126,80 |
| 2 | Válvula Check INOX AISI 304, SCH 40 (2") | \$ 481,70 | \$ 963,40 |
| 50 | Pegadas de suelda para INOX AISI 304 (2") | \$ 109,80 | \$ 5.490,00 |
| 30 | Abrazaderas tipo "U" para tubería INOX AISI 304 (2") | \$ 66,74 | \$ 2.002,20 |
| | MATERIAL ELÉCTRICO | \$ 15.000,00 | \$ 15.000,00 |
| | OBRA CIVIL | \$ 8.000,00 | \$ 8.000,00 |
| | TRANSPORTE | \$ 10.000,00 | \$ 10.000,00 |
| | MANO DE OBRA | \$ 27.000,00 | \$ 27.000,00 |
| | SUBTOTAL | | \$ 167.841,84 |
| | IVA (12%) | | \$ 20.141,02 |
| | TOTAL | | \$ 187.982,86 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

En la Tabla 12-3 se detallan las concentraciones iniciales del agua de sellos, las concentraciones finales, obtenidas después del tratamiento de ablandamiento por intercambio iónico con la resina Purolite C 100; y los valores máximos recomendados por el fabricante. Como se puede apreciar los 192 mg/L CaCO₃, valor inicial de dureza total no cumple con los 60 mg/L CaCO₃ recomendados para el sistema de enfriamiento, mientras que después del tratamiento del agua tenemos un valor de 52 mg/L CaCO₃.

La dureza cálcica y magnésica recomendadas, son equivalentes a 37 y 23 mg/L CaCO₃ respectivamente, condiciones que se cumple en el efluente de agua tratada por intercambio iónico.

Demostrando así la eficiencia del sistema de ablandamiento por intercambio iónico con la resina catiónica Purolite C 100.

Tabla 52-3 Comparación condiciones iniciales y finales

| Parámetro | Unidad | Valor recomendado | Cumplimiento | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|----|---------------------|----|
| | | | Condiciones iniciales | | Condiciones finales | |
| Dureza Total | mg/ L CaCO ₃ | 60 | 192 | NO | 52 | SI |
| Dureza Cálcica | mg/ L CaCO ₃ | 37 | 101 | NO | 32 | SI |
| Dureza Magnésica | mg/ L CaCO ₃ | 23 | 91 | NO | 20 | SI |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.9. Evaluación de Impactos Matriz de Leopold

La evaluación de los impactos ambientales que se podrían generar con la implementación del sistema de ablandamiento por intercambio iónico con la resina Purolite C 100 propuesto, se realizó mediante la Matriz de Leopold, Figura 16-3, se han tomado en cuenta todas las acciones y actividades que involucra la implementación, la operación y funcionamiento, el cierre y abandono del sistema, así como también los factores ambientales donde existe la probabilidad de generar un impacto.

Al ser un área ya intervenida el impacto negativo de la implementación y construcción del sistema es bajo, también se ha tomado en consideración que al ser un área confinada, las actividades

iniciales van a causar molestias temporales por la utilización del espacio, pero estas cesan al terminar la fase de montaje de equipos.

Como se puede observar en la matriz uno de los factores ambientales negativamente afectado es el ruido, que en comparación con el generado en toda la central es mínimo por ello los valores son bajos, en la empresa existen planes de seguridad que contemplan este factor y su afección al personal. Otro factor afectado es la calidad del agua debido a la descarga del efluente generado en los procesos de regeneración, del filtro y los ablandadores que constituyen al sistema integral de tratamiento de agua.

La acción que genera una mayor cantidad de impactos negativos es la regeneración de la resina, debido a la utilización de agua con altos contenidos de cloruro de sodio NaCl durante este proceso, por lo que se recomienda la recirculación de la salmuera y un tratamiento previo la descarga.

Los impactos positivos identificados radican en la generación de fuentes de empleo en las actividades de implementación y construcción del sistema, como también en la fase de cierre y abandono. Otro aspecto positivo es la mejora de la calidad del agua para uso industrial, haciéndola apta para su aplicación en el sistema de enfriamiento de sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco.

| MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA DE SELLOS EN LA CENTRAN SAN FRANCISCO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------|-----|
| ACCIONES FACTORES AMBIENTALES | | | IMPLEMENTACIÓN | | | | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA | | | | | CIERRE Y ABANDONO | | EVALUACIÓN | | | | |
| | | | Planeación | Construcción loza | Transporte de equipos y material | Montaje e instalación del sistema de ablandamiento | Filtrado del agua | Ablandamiento del agua | Regeneración de los filtros | Regeneración de los ablandadores | Mantenimiento | Desmontaje de equipos | Rehabilitación | PROMEDIOS POSITIVOS | PROMEDIOS NEGATIVOS | PROMEDIO ARITMÉTICO | | |
| Características físicas y químicas | TIERRA | Suelos | .-1 1 | .-1 5 | | | | | | | | | | .-2 7 | 1 | 2 | 8 | |
| | AGUA | Continental | | | | | | | .+1 5 | .-7 9 | .-4 5 | | | | 1 | 2 | -78 | |
| | | Calidad | | | | | .+1 5 | .+1 9 | .-3 4 | .-8 5 | .-2 7 | | | .-2 8 | 3 | 3 | -36 | |
| | PROCESOS | Erosión | | | | | | | | | | | | | | 1 | -15 | |
| ATMÓFERA | Ruido | | .-2 2 | .-1 3 | .-3 4 | .-1 3 | .-1 3 | .-1 1 | .-1 2 | .-1 3 | .-2 3 | | | | 9 | -37 | | |
| Condiciones Biológicas | FLORA | Cosechas | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | -1 | |
| | | Plantas acuáticas | | | | | | | | .-1 3 | .-1 2 | | | .-1 4 | 1 | 2 | 1 | |
| | FUANA | Microfauna | | | | | | | | .-1 2 | | | | .-1 2 | 1 | 1 | 0 | |
| Factores Culturales | INTERÉS ESTÉTICO Y HUMANO | Vistas escénicas | .-2 3 | .-3 4 | .-1 3 | .-1 4 | | | | | | | | | | 6 | -28 | |
| | | Calidad de espacio abierto | | .-1 1 | | .-3 2 | | | | | | | | | .-3 2 | 1 | 2 | -1 |
| | | Empleo | .+7 4 | .+5 6 | .+2 3 | .+8 7 | | | | | | | | | .+7 6 | .+5 4 | .+2 3 | 7 |
| RELACIONES ECOLÓGICAS | | Salinización de aguas | | | | | | | | | | | | | | 1 | -10 | |
| | | Cadenas alimentarias | | | | | | | .-1 2 | .-2 1 | | | | | | 2 | -4 | |
| | | Salinización de suelos | | | | | | | | .-3 2 | | | | | .-1 2 | 1 | 1 | -4 |
| EVALUACIÓN | PROMEDIO POSITIVOS | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 8 | 17 | | | | |
| | PROMEDIO NEGATIVOS | | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 10 | 6 | 2 | | | 34 | | | |
| | PROMEDIO ARITMÉTICO | | 21 | 8 | 0 | 34 | 2 | 6 | -10 | -144 | 1 | 12 | 53 | | | | | -17 |

Figura 16-3 Matriz de Leopold para la implementación del Sistema de ablandamiento para el agua de sellos de la Central San Francisco.
Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

CONCLUSIONES

- Mediante los análisis de la caracterización fisicoquímica inicial realizada al agua de infiltraciones, usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco UNHAG CELEC-EP, se logró verificar que contiene elevadas concentraciones de dureza total, teniendo como resultado un valor de 192 mg/L de CaCO_3 , el cual se encuentra triplicando el máximo valor recomendado por el fabricante de los equipos que es de 60 mg/L de CaCO_3 , lo que hace que la calidad del agua actualmente utilizada sea inadecuada para la aplicación industrial requerida.
- El método para optimizar la calidad del agua de sellos mediante el ablandamiento por intercambio iónico con la resina catiónica Purolite C 100 en columna, logró disminuir en hasta un 70% los valores de dureza total inicial del agua. Teniendo a las 2 horas con 20 minutos como resultado promedio, una reducción de la concentración de dureza total a un valor de 52 mg/L de CaCO_3 , colocándolo por debajo de la concentración máxima recomendada. Haciéndola una alternativa viable para emplearla a nivel industrial en la Central San Francisco y de esta manera abastecer al sistema agua exenta de impurezas.
- Las pruebas de laboratorio realizadas, empleando 15g de resina catiónica Purolite C 100, nos permitieron determinar la capacidad de intercambio iónico que posee la resina, obteniendo un valor de 0.9 meq/mL de resina; por medio del cual se pudo determinar 20 ft³ como volumen total de resina para tratar el caudal de 8.4 m³/h durante las 22 horas de funcionamiento del ablandador.
- Se propone un pretratamiento de filtrado para asegurar la retención de partículas presentes en el agua, con el fin de impedir la disposición y taponamiento en el sistema y la instalación de dos ablandadores que funcionen en paralelo para el máximo aprovechamiento del volumen de resina catiónica Purolite C 100.
- Los equipos seleccionados para realizar el tratamiento integral al agua del sistema de enfriamiento de sellos en la Central San Francisco, fueron elegidos por el cumplimiento a las especificaciones técnicas, caudal máximo a tratar y a los resultados arrojados por las pruebas de laboratorio desarrolladas con la resina catiónica Purolite C 100 como intercambiador iónico.

RECOMENDACIONES

- Al ser un ablandador de lecho catiónico se recomienda realizar la regeneración de la resina Purolite C 100 con el flujo de salmuera a contra corriente, para la optimización de tiempo y solución salina empleados en el proceso.
- Investigar sobre la posible reutilización del agua de regeneración de la resina catiónica Purolite C 100 en el sistema, para ello analizar la caracterización físico química del agua. Establecer que posibles tratamientos se le puede dar para su descarga a un cuerpo hídrico.
- Determinar tiempos de mantenimiento periódicos para el sistema, asegurando así el funcionamiento en óptimas condiciones y aprovechando al máximo la vida útil de los equipos y de la resina catiónica Purolite C 100.

BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WPCF. *Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales*. [en línea]. 17a. ed. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A, 1992. [Consulta: 28 Noviembre 2015].

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/34123421/Metodos-Normalizados-Analisis-Agua>

AVILLA, J.A. “Lo esencial Acerca del Intercambio Iónico”. *Agua Latinoamérica*, vol. 2, n°3, 2002, Washington, Estados Unidos de América. [Consulta: 21 Febrero 2016].

Disponible en: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/5-6-02avilla.pdf>

BAIRD, Colin; & CANN, Michael. *Química Ambiental*. [en línea]. 2a. ed. Barcelona, España: Reverté S.A, 2001. [Consulta: 07 Enero 2016].

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/231381951/Quimica-Ambiental-Colin#scribd>

BATTENBERG, G. “Intercambio Catiónico, Parte 1: Volviendo a lo Esencial”. *Agua Latinoamérica*, vol. 16, n°2, 2016, Washington, Estados Unidos de América. [Consulta: 21 Febrero 2016].

Disponible en: http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/V16_N02_Battenberg.pdf

BROWN, Glenn; & SALLEE, Eugene. *Química cuantitativa*. Barcelona, España: Reverté S.A, 1977, pp. 543.

CERVANTES ANANGONÓ, Luis Alfredo. *Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica*. (Tesis de Pregrado). Universidad Salesiana, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2015, pp. 13 [Consulta: 11 Febrero 2016].

Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9122>

CONESA, V. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 4a. ed. Barcelona, España: Mundiprensa, 2009, pp. 60-61

DARDEL, François. *Métodos de regeneración de una columna de intercambio iónico* [blog]. 14 Enero 2016. [Consulta: 02 Febrero 2016].

Disponible en: http://dardel.info/IX/processes/regeneration_ES.html

DE LA LLATA, M. D. *Ecología y Medio Ambiente* [en línea]. México DF, México: Progreso, S.A, 2003. [Consulta: 15 Noviembre 2015].

Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=KnORBYSrdDMC&pg=PA160&dq=CLASIFICACION++DE+impurezas+del+agua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiex_CF-5bLAhXFdh4KHcYjD8EQ6AEIGzAA#v=onepage&q=CLASIFICACION%20%20DE%20impurezas%20del%20agua&f=false

FORSYTHE, W. *Manual de Laboratorio: Física de Suelos*. San José, Costa Rica: IICA, 1980, pp.157

GÓMEZ, Domingo; & GÓMEZ, Ma. Teresa. *Evaluación de Impacto ambiental*. 3a. ed. Barcelona, España: Mundiprensa, 2013, pp.195

HARVEY, D. *Química Analítica Moderna*. Madrid, España: Asher, 2002, pp. 22-29

HENRY, Glynn; & HEINKE, Gary. *Ingeniería Ambiental*. 2a. ed. México DF, México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1999, pp. 408

HIDALGO, Fanny; & GUAMÁN, Marco. *Diseño y Construcción de un desmineralizador de Lecho Múltiple*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador, 2003, pp. 50-66. [Consulta: 25 Enero 2016].
Disponibile en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/746/1/976.pdf>

JIMÉNEZ, B.E. *La contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México DF, México: Limusa S.A, 2005, pp. 131.

LAITINEN, Herbert; & HARRIS, Walter. *Análisis químico: texto avanzado y de referencia*. México DF, México: Reverté, 1982, pp. 534

MANAHAN, S. E. *Introducción a la química ambiental*. México DF, México: Reverté S.A, 2007, pp. 207.

MARÍN, R. *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*, Madrid, España: Díaz de Santos, S.A, 2003, pp.175

MARTINEZ, Javier; & IDROBO, Marcelo. *Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de Ciencias – ESPOCH*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador. 2012, pp. 6-22. [Consulta: 29 Enero 2016].
Disponibile en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2031>

MCCABE, Warren; et al. Julián: *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 6a. ed. México DF, México: McGraw-Hill Interamericana, 2002.

MILLER, Junior; & TYLER, G. *Ecología y Medio Ambiente*. México DF, México: Iberoamericana, 1970, pp. 67-70

NEBEL, Bernard; & WRIGHT, Richard. *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. 6a. ed. México DF, México: Prentice Hall, 1999, pp.266

ODETTI, Héctor; & BOTTANI, Eduardo. *Introducción a la Química Inorgánica*. 3a. ed. Santa Fe, Argentina: Ediciones UNL, 2006, pp. 105.

OROZCO, Carmen; et al. *Contaminación ambiental: Una Visión desde la Química*. Madrid, España: Paraninfo S.A, 2011, pp.183-184

ORTUÑO, V. A. *Introducción a la química industrial*. Barcelona, España: Reverté S.A, 2006, pp. 94-25.

PANCORBO, F. J. *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación* [en línea]. Barcelona, España: Marcombo S.A, 2011. [Consulta: 15 Noviembre 2015]. Disponible en: <http://pdfsr.com/isbn/9788426715760>

PARDO, M. *La evaluación del impacto ambiental y social para el siglo XXI: teorías, procesos y metodología*. Madrid, España: Fundamentos, 2002, pp.216

PASTO, Daniel; & JOHNSON, Carl. *Determinación de estructuras orgánicas*. Barcelona, España: Reverté S.A, 1981, pp. 53-56

PERRY, Robert; et al. James: *Manual del Ingeniero Químico*. 3a. ed. México DF, México: McGraw-Hill, 1992.

PIMIENTA, J. *La captación de aguas subterráneas*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados, S.A, 1973, pp-179

POWELL, S.T. *Manual de Aguas para Usos Industriales*. México DF, México: Ciencia y Tecnología, 1987, pp. 13-16.

PRIMO, E. *Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria*, Barcelona, España: Reverté S.A, 1996, pp. 442.

QUIMICA INTERCAMBIO IÓNICO, Barcelona: Reverté S.A, 1974, pp. 66-67.

RAMOS, Raudel; et al. Francisco: *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis* [en línea]. México DF, México: Plaza y Valdés S.A, 2003. [Consulta: 10 Diciembre 2015]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=b8lhCHPEYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

RIGOLA, M. *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo S.A, 1990, pp. 64

RODRÍGUEZ, José; & MARÍN, Rafael. *Fisicoquímica de aguas* [en línea]. Madrid, España: Díaz de Santos S.A, 1999. [Consulta: 10 Diciembre 2015]. Disponible en: <http://coleccion-de-libros.blogspot.com/2012/09/fisicoquimica-de-aguas-pdf.html>

ROMERO, J. A. *Calidad del agua*. 3a. ed. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009, pp. 13-20.

SAWYER, Clair; et al. Gene: *Química para Ingeniería Ambiental*. 4a. ed. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, 2001, pp 400-600.

SOTO, J.F. "La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias". *SciELO* [en línea], 2010, México DF, México. 11 (2). [Consulta: 10 Enero 2016]. ISSN 1405-7743.

Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200004

TOLEDO, A. *Agua, hombre y paisaje* [en línea]. México DF, México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2006. [Consulta: 15 Noviembre 2015]. Disponible en: <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000042047>

TOLEDO, A. "Hacia una nueva visión de las relaciones entre el agua, el hombre y el paisaje" *Gaceta Ecológica* [en línea], 2006, [Consulta: 15 Febrero 2016]. ISSN 1405-2849. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907801>

WALTON, Harold; & REYES, Jorge. *Análisis químico e instrumental moderno*. Barcelona, España: Reverté S.A, 2005, pp. 297.

WATER PROJECTS, S.A. *Diseño del sistema de tratamiento de agua para el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco*, Quito, Ecuador, 2015, pp. 8, 40.

WEBER, W. J. *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos*. Barcelona, España: Reverté S.A, 1979, pp. 64-66.

ANEXOS

Anexo A. Resultados Caracterización fisicoquímica



LABOLAB
ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES
INFORME DE RESULTADOS

Orden de Trabajo # 150143
Hoja 1 de 1

| | |
|--|--|
| NOMBRE: | Water Projects S.A. |
| DIRECCIÓN: | Pasaje N54 N14 – 135 Pasaje E 14 C |
| MUESTRA: | Agua de vertiente |
| CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA: | Líquido incoloro |
| ANÁLISIS: | Físico químico |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 20 de enero del 2015 |
| FECHA DE TOMA DE MUESTRA: | 20 de enero del 2015 |
| LOCALIZACIÓN: | Túnel Hidroeléctrica - San Francisco - Río Negro - Baños |
| ENVASE: | PET |
| REFERENCIA: | 150143 |
| FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYO: | 20 – 22 de enero del 2015 |
| MUESTREADO POR: | El Cliente |
| CONDICIONES AMBIENTALES: | 24°C 31% HR |

| ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO | RESULTADO | Unidad | METODO | Limites |
|--|-----------|--------|----------------------------|------------|
| pH (20°C) | 6.53 | | PHA 4500H- B | 6 - 9 |
| COLOR: | 0 | UTC | Visual | hasta 5 |
| TURBIEDAD: | 0 | NTU | Nefelométrico | hasta 3 |
| CONDUCTIVIDAD (Micromhos): | 441 | | PHA 2510 | hasta 500 |
| CARBONATOS: | 0.00 | mg/l | olumétrico | hasta 120 |
| BICARBONATOS: | 143.51 | mg/l | olumétrico | hasta 250 |
| CLORUROS: | 18.33 | mg/l | PHA 4500- Cl B | hasta 350 |
| MANGANESO: | 0.00 | mg/l | PHA 3500- Mn B | hasta 0.4 |
| HIERRO TOTAL: | 0.17 | mg/l | HA 3500-Fe B | hasta 0.3 |
| MAGNESIO: | 6.26 | mg/l | PHA 3500-Mg B | hasta 150 |
| CALCIO: | 44.44 | mg/l | PHA 3500-Ca B | hasta 200 |
| NITRATOS: | 0.23 | mg/l | PHA 4500-NO ₃ D | hasta 50 |
| NITRITOS: | 0.01 | mg/l | PHA 4500 NO ₂ B | hasta 1 |
| SULFATOS: | 15.62 | mg/l | HA 4500-SO ₄ E | hasta 400 |
| FOSFATOS: | 0.20 | mg/l | PHA 4500-P C | hasta 0.3 |
| SODIO: | 33 | mg/l | lectrodo selectivo | hasta 115 |
| POTASIO: | 4 | mg/l | lectrodo selectivo | hasta 300 |
| ALCALINIDAD: | 143.51 | mg/l | PHA 2320B | hasta 250 |
| DUREZA TOTAL (Como CaCO ₃): | 136.62 | mg/l | PHA 2340C | hasta 300 |
| DUREZA CARBONATADA (Como CaCO ₃): | 136.62 | mg/l | álculo | |
| DUREZA NO CARBONATADA (Como CaCO ₃): | 0.00 | mg/l | álculo | |
| SOLIDOS TOTALES (a 105°C): | 276 | mg/l | PHA 2540B | hasta 1500 |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (a 105°C): | 225 | mg/l | PHA 2540C | hasta 500 |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS (a 105 °C): | 51 | mg/l | PHA 2540D | |
| INDICE DE LANGELIER (a 25 °C): | - 1.20 | | álculo | - 0.50 |


 Dr. Oscar Luzuriaga
 PRESIDENTE

El presente informe solo es válido para la muestra analizada.
 Este informe no debe ser utilizado más que en su totalidad previa autorización escrita de LABOLAB.

INFORME TÉCNICO, FICHA DE ESTABILIDAD, INFORMACIÓN NUTRICIONAL PARA REGISTRO SANITARIO
 Análisis físico, químico, microbiológico, entomológico de: alimentos, aguas, bebidas, materias primas, salmón (11%), L. S. Alimentos procesados, aceites, metales pesados y otros.
 Av. Pérez Guerrero De 21-11 y Versailles - Of. 12 B - 2do. Piso - Telefax.: 2563-225 / 2236-404 / 3214-333 / 3214-333 Cel.: 0996090-412
 e-mails: secretaria@labolab.com.ec / servicioalcliente@labolab.com.ec / ocaluzuriaga@labolab.com.ec
www.labolab.com.ec
 Quito - Ecuador

Anexo B. Tanque de Infiltraciones – lugar de toma de muestras



Anexo C. Reactivos químicos para el análisis de Dureza Total y Cálfica.



Anexo D. Determinación mediante titulación con EDTA para Dureza y Ácido Sulfúrico para la Alcalinidad



Anexo E. Viraje de color en la determinación de: Dureza total, Dureza cálcica y Alcalinidad



Anexo F. Columna de Intercambio Iónico



Anexo G. Ficha Técnica Resina Purolite C 100



FICHA
TÉCNICA

Purolite® C100 Resina Catiónica Fuertemente Ácida Gel

Purolite C100 es una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida, de tipo gel, y de matriz de poliestireno sulfonado. Se emplea, en forma sodio y regenerada con NaCl, para eliminar toda la dureza del agua, reemplazando todos los iones de calcio y magnesio por los equivalentes en sodio. Se emplea, en forma hidrógeno y regenerada con ácido, para eliminar todos los cationes presentes en el agua a tratar.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS:

| | |
|-----------------------|---|
| Aplicación | Ablandamiento y Desmineralización |
| Estructura Polimérica | Base de Poliestireno e Divinilbenceno, Tipo Gel |
| Apariencia | Partículas Esféricas Uniformes |
| Grupo Funcional | Ácido Sulfónico |
| Forma Iónica Original | Na ⁺ |

INFORMACIONES DEL PRODUCTO:

| | |
|--|---|
| Capacidad Total | 2,0 eq/l (en la forma Na ⁺) |
| Humedad Retida | 44 - 48 % (en la forma Na ⁺) |
| Variación del Tamaño de las Esferas | 300 – 1200 µm |
| Coefficiente de Uniformidad (max.) | 1,7 |
| Dilatación Reversible, Na ⁺ → H ⁺ (max.) | 8% |
| Densidad Relativa | 1,29 (en la forma Na ⁺) |
| Peso Específico (aproximado) | 800 - 840 g/l (49,9 - 51,4 lb/ft ³) |
| Temperatura Límite | 120°C (250°F) |

Americas
T +01 610.668.9090
F +01 484.384.2751
americas@purolite.com

Europe
T +44 1443 229334
F +44 1443 227073
europe@purolite.com

Asia Pacific
T +86 371 876 31382
F +86 371 876 31383
asiapacific@purolite.com

Anexo H. Propiedades del Agua a Distintas Temperaturas, para la determinación de pérdidas en tuberías

A.1 Unidades S.I. ($p_{abs} = 101 \text{ kPa}$)

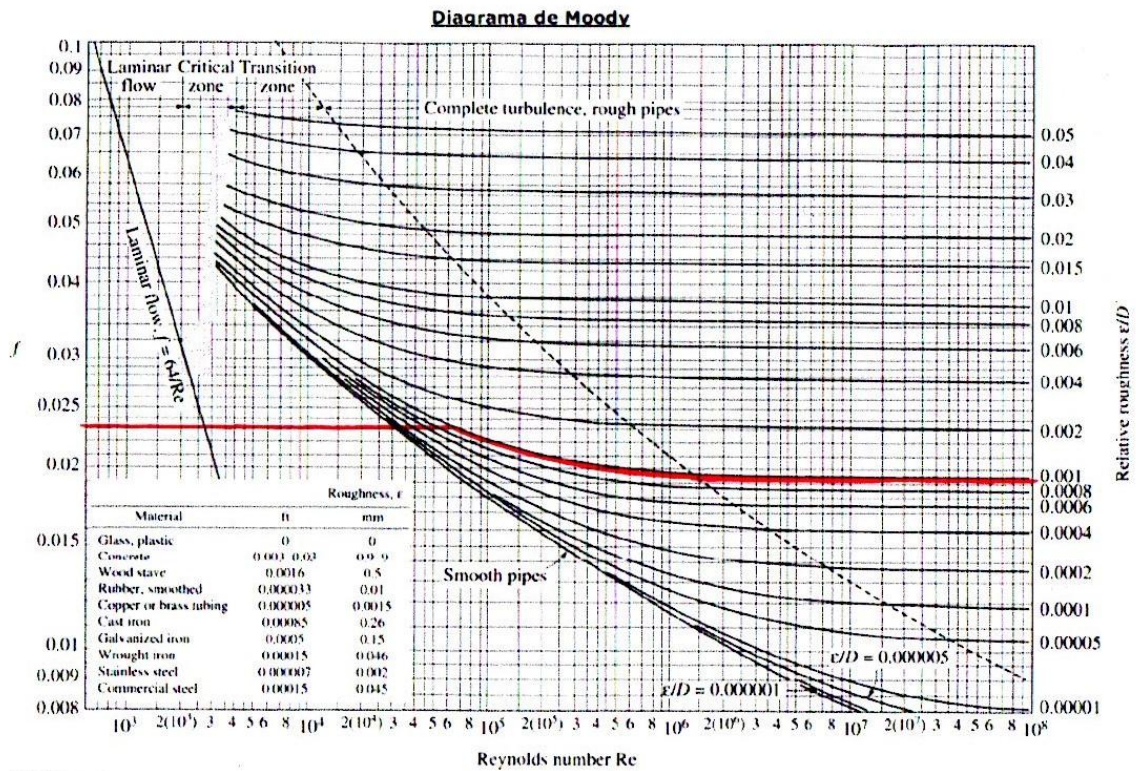
| Temperatura (°C) | Peso específico γ (kN/m ³) | Densidad ρ (kg/m ³) | Viscosidad dinámica μ (Pa·s) ó (N·s/m ²) | Viscosidad cinemática ν (m ² /s) |
|---------------------|--|--|--|--|
| 0 | 9.81 | 1000 | 1.75×10^{-3} | 1.75×10^{-6} |
| 5 | 9.81 | 1000 | 1.52×10^{-3} | 1.52×10^{-6} |
| 10 | 9.81 | 1000 | 1.30×10^{-3} | 1.30×10^{-6} |
| 15 | 9.81 | 1000 | 1.15×10^{-3} | 1.15×10^{-6} |
| 20 | 9.79 | 998 | 1.02×10^{-3} | 1.02×10^{-6} |
| 25 | 9.78 | 997 | 8.91×10^{-4} | 8.94×10^{-7} |
| 30 | 9.77 | 996 | 8.00×10^{-4} | 8.03×10^{-7} |
| 35 | 9.75 | 994 | 7.18×10^{-4} | 7.22×10^{-7} |
| 40 | 9.73 | 992 | 6.51×10^{-4} | 6.56×10^{-7} |
| 45 | 9.71 | 990 | 5.94×10^{-4} | 6.00×10^{-7} |
| 50 | 9.69 | 988 | 5.41×10^{-4} | 5.48×10^{-7} |
| 55 | 9.67 | 986 | 4.98×10^{-4} | 5.05×10^{-7} |
| 60 | 9.65 | 984 | 4.60×10^{-4} | 4.67×10^{-7} |
| 65 | 9.62 | 981 | 4.31×10^{-4} | 4.39×10^{-7} |
| 70 | 9.59 | 978 | 4.02×10^{-4} | 4.11×10^{-7} |
| 75 | 9.56 | 975 | 3.73×10^{-4} | 3.83×10^{-7} |
| 80 | 9.53 | 971 | 3.50×10^{-4} | 3.60×10^{-7} |
| 85 | 9.50 | 968 | 3.30×10^{-4} | 3.41×10^{-7} |
| 90 | 9.47 | 965 | 3.11×10^{-4} | 3.22×10^{-7} |
| 95 | 9.44 | 962 | 2.92×10^{-4} | 3.04×10^{-7} |
| 100 | 9.40 | 958 | 2.82×10^{-4} | 2.94×10^{-7} |

A.2 Sistema Británico de Unidades
($p_{abs} = 14.7 \text{ lb/pulg}^2$)

| Temperatura (°F) | Peso específico γ (lb/pté ³) | Densidad ρ (slugs/pté ³) | Viscosidad dinámica μ (lb·s/pté ²) | Viscosidad cinemática ν (pté ² /s) |
|---------------------|--|---|---|--|
| 32 | 62.4 | 1.94 | 3.66×10^{-5} | 1.89×10^{-5} |
| 40 | 62.4 | 1.94 | 3.23×10^{-5} | 1.67×10^{-5} |
| 50 | 62.4 | 1.94 | 2.72×10^{-5} | 1.40×10^{-5} |
| 60 | 62.4 | 1.94 | 2.35×10^{-5} | 1.21×10^{-5} |
| 70 | 62.3 | 1.94 | 2.04×10^{-5} | 1.05×10^{-5} |
| 80 | 62.2 | 1.93 | 1.77×10^{-5} | 9.15×10^{-6} |
| 90 | 62.1 | 1.93 | 1.60×10^{-5} | 8.29×10^{-6} |
| 100 | 62.0 | 1.93 | 1.42×10^{-5} | 7.37×10^{-6} |
| 110 | 61.9 | 1.92 | 1.26×10^{-5} | 6.55×10^{-6} |
| 120 | 61.7 | 1.92 | 1.14×10^{-5} | 5.94×10^{-6} |
| 130 | 61.5 | 1.91 | 1.05×10^{-5} | 5.49×10^{-6} |
| 140 | 61.4 | 1.91 | 9.60×10^{-6} | 5.03×10^{-6} |
| 150 | 61.2 | 1.90 | 8.90×10^{-6} | 4.68×10^{-6} |
| 160 | 61.0 | 1.90 | 8.30×10^{-6} | 4.38×10^{-6} |
| 170 | 60.8 | 1.89 | 7.70×10^{-6} | 4.07×10^{-6} |
| 180 | 60.6 | 1.88 | 7.23×10^{-6} | 3.84×10^{-6} |
| 190 | 60.4 | 1.88 | 6.80×10^{-6} | 3.62×10^{-6} |
| 200 | 60.1 | 1.87 | 6.25×10^{-6} | 3.35×10^{-6} |
| 212 | 59.8 | 1.86 | 5.89×10^{-6} | 3.17×10^{-6} |

Anexo I. Dimensiones de Tubos - Diagrama de Moody, para el cálculo de pérdidas en las tuberías

| TAMAÑO NOMINAL NPS | Diam. Ext. | | Cedula 10S A | | | | | | Cedula 40S A | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| | pg | mm | Grosor Pared | | Diámetro Int. | | Peso Aprox. | | Grosor Pared | | Diámetro Int. | | Peso Aprox. | |
| | | | pg | mm | pg | mm | Lb / pie | Kg / m | pg | mm | pg | mm | Lb / pie | Kg / m |
| 1/8 | .405 | 10.29 | .049 | 1.24 | .307 | 7.81 | .19 | .28 | .068 | 1.73 | .269 | 6.83 | .25 | .37 |
| 1/4 | .540 | 13.72 | .065 | 1.65 | .410 | 10.42 | .33 | .49 | .088 | 2.24 | .364 | 9.24 | .43 | .63 |
| 3/8 | .675 | 17.15 | .065 | 1.65 | .545 | 13.85 | .42 | .63 | .091 | 2.31 | .493 | 12.53 | .57 | .85 |
| 1/2 | .840 | 21.34 | .083 | 2.11 | 6.74 | 17.12 | .67 | 1.00 | .109 | 2.77 | .622 | 15.80 | .85 | 1.27 |
| 3/4 | 1.050 | 26.67 | .083 | 2.11 | .884 | 22.45 | .86 | 1.28 | .113 | 2.87 | .824 | 20.93 | 1.13 | 1.69 |
| 1 | 1.315 | 33.40 | .109 | 2.77 | 1.097 | 27.86 | 1.40 | 2.09 | .133 | 3.38 | 1.049 | 26.64 | 1.68 | 2.50 |
| 1 1/4 | 1.660 | 42.16 | .109 | 2.77 | 1.442 | 36.62 | 1.81 | 2.69 | .140 | 3.56 | 1.380 | 35.04 | 2.27 | 3.39 |
| 1 1/2 | 1.900 | 48.26 | .109 | 2.77 | 1.682 | 42.72 | 2.09 | 3.11 | .145 | 3.68 | 1.610 | 40.90 | 2.72 | 4.05 |
| 2 | 2.375 | 60.33 | .109 | 2.77 | 2.157 | 54.79 | 2.64 | 3.93 | .154 | 3.91 | 2.067 | 52.51 | 3.65 | 5.45 |
| 2 1/2 | 2.875 | 73.03 | .120 | 3.05 | 2.635 | 66.93 | 3.53 | 5.27 | .203 | 5.16 | 2.469 | 62.71 | 5.79 | 8.64 |
| 3 | 3.500 | 88.90 | .120 | 3.05 | 3.260 | 82.80 | 4.33 | 6.46 | .216 | 5.49 | 3.068 | 77.92 | 7.58 | 11.30 |
| 3 1/2 | 4.000 | 101.60 | .120 | 3.05 | 3.760 | 95.50 | 4.97 | 7.42 | .226 | 5.74 | 3.548 | 90.12 | 9.11 | 13.58 |
| 4 | 4.500 | 114.30 | .120 | 3.05 | 4.260 | 108.20 | 5.61 | 8.37 | .237 | 6.02 | 4.026 | 102.26 | 10.79 | 16.09 |
| 6 | 6.625 | 168.28 | .134 | 3.40 | 6.357 | 161.48 | 9.29 | 13.85 | .280 | 7.11 | 6.065 | 154.06 | 18.97 | 28.28 |
| 8 | 8.625 | 219.08 | .148 | 3.76 | 8.329 | 211.56 | 13.40 | 19.98 | .322 | 8.18 | 7.981 | 202.72 | 28.55 | 42.57 |
| 10 | 10.750 | 273.05 | .165 | 4.19 | 10.420 | 264.67 | 18.70 | 27.88 | .365 | 9.27 | 10.020 | 254.51 | 40.48 | 60.36 |
| 12 | 12.750 | 323.85 | .180 | 4.57 | 12.390 | 314.71 | 24.20 | 36.08 | .406 | 10.31 | 11.938 | 303.23 | 53.53 | 79.81 |
| 14 | 14.000 | 355.60 | .250 | 6.35 | 13.500 | 342.90 | 36.71 | 54.74 | .437 | 11.10 | 13.126 | 333.40 | 63.37 | 94.49 |
| 16 | 16.000 | 406.40 | .250 | 6.35 | 15.500 | 393.70 | 42.05 | 62.70 | .500 | 12.70 | 15.000 | 381.00 | 82.77 | 123.41 |
| 18 | 18.000 | 457.20 | .250 | 6.35 | 17.500 | 444.50 | 47.39 | 70.66 | .562 | 14.30 | 16.876 | 428.60 | 104.80 | 156.26 |
| 20 | 20.000 | 508.00 | .250 | 6.35 | 19.500 | 495.30 | 52.73 | 78.62 | .593 | 15.10 | 18.814 | 477.80 | 122.90 | 183.24 |
| 24 | 24.000 | 609.60 | .250 | 6.35 | 23.500 | 584.20 | 63.41 | 94.54 | .687 | 17.40 | 22.626 | 574.80 | 171.20 | 255.26 |
| 30 | 30.000 | 762.00 | .312 | 7.92 | 29.376 | 746.16 | 98.93 | 147.51 | | | | | | |



Anexo J. Ficha Técnica de los Filtros marca Culligan



Markets Served:

Clinics
Educational Facilities
Energy/Power
Food/Beverage Production
Food Service/Restaurants
Grocery
Healthcare/Hospitals/Bio-Pharmaceutical
Hospitality/Lodging
Manufacturing
Municipal Drinking Water
Oil/Gas

The Culligan Side Mount (CSM™) Series HEAVY-DUTY WATER FILTER SYSTEM

High-Volume Filtration for Commercial and Industrial Water Systems

When you want to produce high quality water in a demanding and variable environment, trust Culligan filters. The Culligan Side Mount (CSM) heavy-duty filter reduces contaminants* and solids that affect water quality and equipment efficiency. The Culligan-exclusive Smart Controller makes it easy for you to set up and manage your water treatment. Using optional accessories such as an automatic timer or sensors, monitor the system and filter as needed without constant supervision, saving resources and money.

The CSM heavy-duty commercial filter is part of the Culligan Matrix Solutions® that combine durable and efficient equipment, systems experience, and technical experts who understand your unique requirements. From planning your system to installing your water treatment equipment, Culligan Matrix Solutions offer options that help deliver the quality of water to meet your needs. Contact Culligan today to learn more about the CSM softener system.

CULLIGAN MATRIX SOLUTIONS ADVANTAGES:

- Simple System Integration
- Global Product Platform
- Flexible Configurations
- Quick Delivery/Easy Installation
- Exclusive Culligan Advanced Electronics
 - Historical Operating Data
 - Alarm Recognitions
 - US Standard and Metric Readings
 - Remote Monitoring Options
 - Telemetry Options

*Contaminants may not necessarily be in your water.



PRE-TREATMENT SOLUTIONS.

SYSTEM SPECIFICATIONS

Warranty

Culligan's CSM water filters are backed by a limited 3-year warranty against defects in materials, workmanship and corrosion. In addition, tanks carry a limited 5-year warranty.[†]

[†] See printed warranty for details. Culligan will provide a copy of the warranty upon request.

System Specifications

| Specification | IS | Matrix |
|--------------------------|-------------|-------------|
| Inlet Pressure (dynamic) | 30-100 psig | 207-600 kPa |
| Power | | |
| Voltage (Frequency) | 120V/60 Hz | 50/60 Hz |
| Feed Water Temperature | 40-120°F | 4-49°C |

[†] 120 Volt 24 Volt Cu/Al Inert transformer included.



UL Listed for CSM Filter by Model No. 102540001-012

CSM Water Filter System

| Model | Depth Filters | | | | | |
|----------|--|--|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| | Service Flow Rates ¹ | | Backwash Flow ² (gpm/psf) | Pipe Size (Inches) | Media (Qty. (Bags)) | Filter Tank Size (Inches) |
| | Normal (gpm @ psi drop / gpm @ 10' drop) | Peak (gpm @ psi drop / gpm @ 10' drop) | | | | |
| CSM-302D | 22 @ 6 | 33 @ 12 | 30 | 2 | 571 | 20 x 54 |
| | 83.3 @ 41.4 | 124.9 @ 13.8 | 113.6 | 50.8 | 259 | 508 x 1,372 |
| CSM-362D | 32 @ 5 | 48 @ 9 | 45 | 2 | 830 | 24 x 54 |
| | 123.1 @ 24.5 | 181.7 @ 6.2 | 159.3 | 50.8 | 316 | 610 x 1,372 |
| CSM-302D | 50 @ 9 | 74 @ 17 | 75 | 2 | 1244 | 30 x 60 |
| | 189.2 @ 12 | 280.1 @ 117 | 283.9 | 50.8 | 564 | 762 x 1,524 |
| CSM-362D | 71 @ 11 | 107 @ 23 | 105 | 2 | 1705 | 36 x 60 |
| | 252.7 @ 6.9 | 405 @ 159 | 387.4 | 50.8 | 801 | 914 x 1,524 |
| CSM-422D | 97 @ 15 | 145 @ 28 | 150 | 2 | 2488 | 42 x 60 |
| | 367.1 @ 103.4 | 548.8 @ 193 | 567.8 | 50.8 | 1129 | 1,067 x 1,524 |
| CSM-422D | 97 @ 6 | 145 @ 11 | 150 | 3 | 2488 | 42 x 60 |
| | 367.1 @ 41.4 | 548.8 @ 76 | 567.8 | 76.2 | 1129 | 1,067 x 1,524 |

¹ Service flow rates are based on:

Normal (10 gpm/ft² - 24 m³/hr/ft²) - Best quality effluent at specified flow. Lowest pressure loss. Recommended for suspended solids loads up to and greater than 300 ppm.

Peak (15 gpm/ft² - 37 m³/hr/ft²) - Very good quality effluent at specified flow. Increased pressure loss. Recommended for suspended solids loads < 300 ppm.

² Backwash flow rates are based on 12-14 gpm/ft² (29-34 m³/hr/ft²) using 50°F (10°C) water. A different backwash rate may be required depending upon water temperature.

Examples of Filter Applications

- Food and Beverage—Improved taste and increased cost savings
- Drinking Water—Reduces turbidity and chlorine; improves taste and clarity

Standard Features

- Single or Multiple Tank Configurations
- Culligan's Smart Controller—More control over your equipment with programming and monitoring capabilities typically found in more expensive PLC controls, a variety of add-on options for advanced instrumentation and communication let you easily customize the system to help meet your needs
- Telemetric Capability
- Regeneration Initiation by choice or

- Boilers—Turbidity reduction, reduce sludge blowdown
- Light Industry Processes—Reduces particulate matter

- combination of time clock, flow meter or differential pressure switch
- Carbon Filters—For reduction of organics (flow rates up to 48 gpm per tank), or chlorine (flow rates up to 96 gpm per tank)
- Depth Filters—Flow rates up to 145 gpm per tank
- Culligan's Multiport Valve—Our guided perimeter-designed diaphragm valves are built with reinforced rubber components to resist damage from particulates in the water

- Pretreatment—For softeners, RO's and DI systems
- Vehicle Wash—Turbidity reduction
- Grocery/Retail—Quality water for aesthetics and help extend equipment life

- and ensure smooth operation free of water hammer. The inside and outside surfaces of the valve are electro-coated to deter corrosion. The valve was designed with serviceability in mind; accessibility for installation and maintenance won't be an issue.
- Corrosion resistant tanks—Made of low carbon steel with epoxy interior lining and finish coat painted exterior

Optional Features & Accessories

- Patented Progressive Flow—Culligan's Smart Controller can monitor flow demands, bringing additional tanks on-line or off-line as flows increase or decrease
- Differential Pressure Switch
- ASME Code Tanks

- Gauge Packages—Pressure gauges provided for mounting at the inlet and outlet connection
- Separate source regeneration kits
- Skid Mounted—Fully pre-piped and wired systems for single point field utility

- connection of inlet, outlet, drain and power supply
- Flow Measuring Devices—Available for volume based regeneration initiation
- Remote Display
- RS232, RS485, Modbus PLC Output

| Model | Carbon Filters | | | | | |
|----------|--|---|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| | Service Flow Rates | | Backwash Flow ² (gpm/psf) | Pipe Size (Inches) | Media (Qty. (Bags)) | Filter Tank Size (Inches) |
| | Total Order B Organic Removal ¹ (gpm @ psi drop / gpm @ 10' drop) | Dechlorination ² (gpm @ psi drop / gpm @ 10' drop) | | | | |
| CSM-242R | 16 @ 3 | 21 @ 6 | 30 | 2 | 8 | 24 x 54 |
| | 60.6 @ 20.7 | 117.3 @ 41.4 | 113.6 | 50.8 | 0.227 | 610 x 1,372 |
| CSM-302R | 25 @ 4 | 49 @ 7 | 45 | 2 | 12 | 30 x 60 |
| | 94.6 @ 27.6 | 185.5 @ 48.3 | 170.3 | 50.8 | 0.34 | 762 x 1,524 |
| CSM-362R | 35 @ 3 | 71 @ 11 | 70 | 2 | 18 | 36 x 60 |
| | 132.5 @ 20.7 | 262.7 @ 6.9 | 265 | 50.8 | 0.51 | 914 x 1,524 |
| CSM-422R | 48 @ 4 | 96 @ 13 | 95 | 2 | 24 | 42 x 60 |
| | 181.7 @ 27.6 | 363.4 @ 20.7 | 358.6 | 50.8 | 0.68 | 1,067 x 1,524 |

¹ Service flow rates for taste, odor & organic removal are based on 5 gpm/ft² (12 m³/hr/ft²).

² Service flow rates for dechlorination are based on 10 gpm/ft² (24 m³/hr/ft²).

³ Backwash flow rates are based on 10 gpm/ft² (24 m³/hr/ft²) using 50°F (10°C) water. A different backwash rate may be required depending upon water temperature or the type of carbon used.

NOTE: Operational, maintenance and replacement requirements are essential for this product to perform as advertised. Specifications shown are for single models. Also available in multiple tank configurations.

All pressure drop figures are based on new filter media and a water temperature of 60°F.

Depth filters are capable of 10 micron effluent water quality, whereas all other filter types are capable of 40 micron effluent water quality.



www.culliganmatrixsolutions.com • 866-787-4293

For over 75 years, Culligan has made better water. Our global network, comprised of 800+ dealers and international licensees in over 90 countries, is dedicated to addressing your water-related problems. As a worldwide leader in water treatment, our sales representatives and service technicians are familiar with the local water conditions in your area. Being global and local position us to deliver customized solutions to commercial and industrial water issues that affect your business and your bottom line.

All trademarks used herein are registered trademarks of Culligan International Company.

Products manufactured or marketed by Culligan and its affiliates are protected by patents issued or pending in the United States and other countries.

Culligan reserves the right to change the specifications referred to in this literature at any time, without prior notice.

More 



The Culligan Side Mount (CSM™) Series Heavy-Duty Water Softener System



EXAMPLES OF MARKETS SERVED:

CLINICS
EDUCATIONAL FACILITIES
ENERGY & POWER
FOOD & BEVERAGE PRODUCTION
FOOD SERVICE/RESTAURANTS
GROCERY
HEALTHCARE/HOSPITALS/BIO-PHARMACEUTICAL
HOSPITALITY/LODGING
MANUFACTURING
MUNICIPAL DRINKING WATER
OIL & GAS

Efficient and Scalable Heavy-Duty Water Treatment System

Use Culligan equipment to help meet the highest standard of water quality at your facility. The Culligan Side Mount heavy-duty softener reduces hard water contaminants*, even for large flow volume applications, reducing scale buildup that can affect equipment performance. The Culligan-exclusive Smart Controller allows you to efficiently set up and manage your water treatment. Using optional accessories, monitor water usage data, such as the flow rate and volume, and regenerate the system as needed, saving resources and money.

The CSM softener is part of the Culligan Matrix Solutions™ that combine durable and efficient equipment, systems experience, and technical experts who understand your unique requirements. From planning your system to installing your water treatment equipment, Culligan Matrix Solutions offer options that help deliver the quality of water to meet your needs. Contact Culligan today to learn more about the CSM softener system.

*contaminants are not necessarily in your water.

Culligan Matrix Solutions Advantages:

- Simple System Integration
- Global Product Platform
- Flexible Configurations
- Quick Delivery/Easy Installation
- Exclusive Culligan Advanced Electronics
 - Historical Operating Data
 - Alarm Recognitions
 - US Standard and Metric Readings
 - Remote Monitoring Options
 - Telemetry Options



Pre-Treatment
Solutions



Membrane
Solutions



Deionization
Solutions



Storage
Solutions



Distribution
Solutions

Warranty

Culligan's CSM water softeners are backed by a limited 1-year warranty against defects in material, workmanship and corrosion. In addition, softener tanks are warranted for a period of 5 years.[†]

† See product warranty for details. Culligan will provide a copy of the warranty upon request. Some localized low corrosion water. A softener cannot correct the condition, so its potential warranty duration liability for corrosion of plumbing lines, fixtures, or water-using equipment. If you expect corrosion, you independently specified Culligan should not be expected to help correct the problem.

System Specifications

| Specification | BS | Metric |
|--------------------------|---|-------------|
| Inlet Pressure (Maximum) | 30–100 psig | 210–410 kPa |
| Power | 120 V/60 Hz 50/60 Hz | |
| Feed Water Temperature | 40–120° F | 44° C |
| Salinity (Maximum Inlet) | 5 mg/L, max. [‡] 1 mg/L, max. [‡] 5 mg/L, max. [‡] | |

† 120V/60 Hz (BS/US) local requirements included.
[‡] See model specifications for details.

Examples of Softener Applications

- Food and Beverage—Improved taste
- Educational Facilities—Bottle and cooling tower make-up water for scale reduction and improved energy costs
- Restaurants—For dishwashing, cleaning industrial settings, scale reduction
- RO Systems/DT Pre-treatment

- Car Washes—Quality results, detergent and water foaming savings, scale reduction
- Apartment buildings, assisted living facilities and hotels—Quality water for laundry, dishwashers, boilers
- Geology/Hotel—Quality water for aesthetics and help extend equipment life

- Light Industry—For process and make-up water, boiler and cooling system pre-treatment, general housekeeping
- Office buildings—For heating plant pre-treatment, tenant conveniences, general housekeeping

Standard Features

- Single, Multiple Tank Configurations—Hardness removal capacities up to 900,000 grains per tank. Continuous flow rates up to 201 gpm per tank.
- Culligan's Smart Controller—More control over your equipment with programming and monitoring capabilities typically found in more expensive PLC controls. A variety of add-on options for advanced instrumentation and communication let you exactly customize the system to help meet your needs.

- Takometric Capability
- Regeneration Initiation by clock or combination of time clock, meter or Aqua-Sensor inputs
- Culligan's Multiport Valve—Galvalloy perimeter designed diaphragm valves on smooth operating and true of water hammer. All valve ports are readily accessible in the design for ease of service.

- Corrosion resistant tanks—Made of low carbon steel with epoxy interior lining and finish coat painted exterior

Optional Features & Accessories

- Corrosion resistant inline system construction for long life
- Steel Reinforced—Fully pre-piped and wired systems for single point hard utility connection of inlet, outlet, drain and power supply
- Perennial Progressive Flow—Culligan's Smart Controller can monitor flow demands beinging additional softening tanks on-line or offline as flows increase or decrease

- ASME Code Tanks
- Brno Redoxim—radius operating costs
- Perennial Aqua-Sensor™ Control—Initiates regeneration only when needed based upon water hardness, automatically adjusts to changes in raw water hardness and water consumption
- Flow Measuring Devices—on available for direct connection to the Culligan Smart Controller for volume based regeneration initiation

- Remote Display
- RS232, RS485, Modbus PLC Output

CSM Water Softener System

| Model | Resin Qty. (lb/US) | Pipe Size (in./mm) | Flow Rates (gpm/lpm) | | Tank Size*** (in./mm) | |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------|--------|-----------------------|---------------|
| | | | Continuous* | Peak** | Softener | Brno**** |
| 150-2 | 5 | 2 | 67 | 94 | 20 x 54 | 24 x 50 |
| | 142 | 50.8 | 253.6 | 355.8 | 508 x 1,372 | 610 x 1,270 |
| | 7 | 2 | 76 | 102 | 24 x 54 | 24 x 50 |
| 210-2 | 198 | 50.8 | 287.7 | 386.1 | 610 x 1,372 | 610 x 1,270 |
| | 10 | 2 | 84 | 112 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| 300-2 | 293 | 50.8 | 317.9 | 423.9 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| | 10 | 3 | 152 | 210 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| 300-3 | 293 | 76.2 | 325.3 | 394.9 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| | 15 | 2 | 79 | 106 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| 450-2 | 425 | 50.8 | 299 | 401.2 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| | 15 | 3 | 125 | 192 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| 450-3 | 425 | 76.2 | 311 | 376.7 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| | 20 | 3 | 94 | 125 | 36 x 60 | 39 x 48 |
| 600-2 | 566 | 50.8 | 355.8 | 473.1 | 914 x 1,524 | 910 x 1,219 |
| | 20 | 3 | 163 | 212 | 36 x 60 | 39 x 48 |
| 600-3 | 566 | 76.2 | 392.7 | 513.8 | 914 x 1,524 | 991 x 1,219 |
| | 25 | 2 | 97 | 129 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| 750-2 | 708 | 50.8 | 367.1 | 488.3 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |
| | 25 | 3 | 201 | 267 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| 750-3 | 708 | 76.2 | 340.8 | 450.6 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |
| | 30 | 2 | 96 | 127 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| 900-2 | 850 | 50.8 | 363.4 | 480.7 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |
| | 30 | 3 | 193 | 259 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| 900-3 | 850 | 76.2 | 330.5 | 430.3 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |

*Flow rate at 15 psi pressure loss.

**Flow rate at 25 psi pressure loss.

***Dimensions are diameter by tank height.

****Flow system are optional.

Flow rates shown are per tank.
Low flow branching flow rates less than 0.5 gpm per individual rate but of total may cause hardness leakage into effluent.
CSM product warranty will void the Brno label.

Finally, an end-to-end solution from a single source.



Place your commercial and industrial water treatment needs in the hands of a global leader.

For over 70 years, Culligan has made better water. Our global network, comprised of 800+ dealers and international licensees in over 90 countries, is dedicated to addressing your water-related problems. As a worldwide leader in water treatment, our sales representatives and service technicians are familiar with the local water conditions in your area. Being global and local position us to deliver customized solutions to commercial and industrial water issues that affect your business and your bottom line.

www.culliganmatrixsolutions.com • 866-787-4293

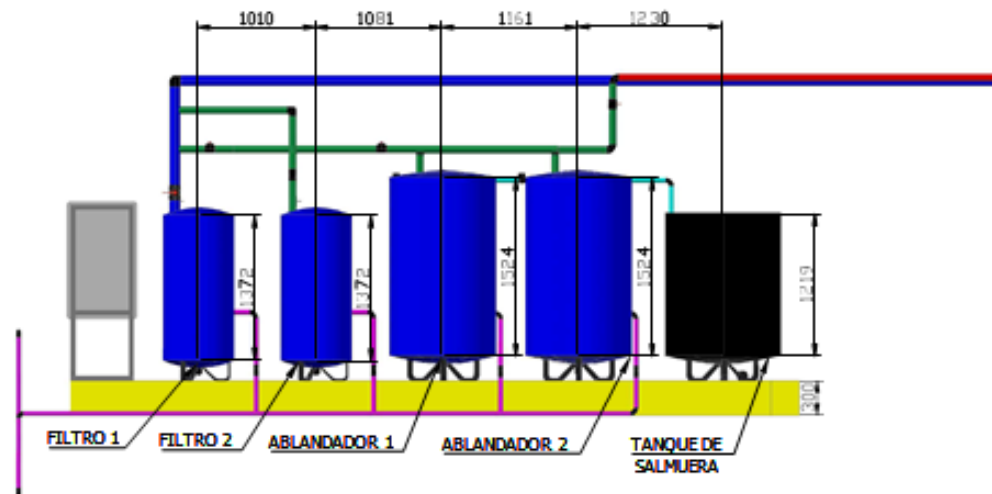
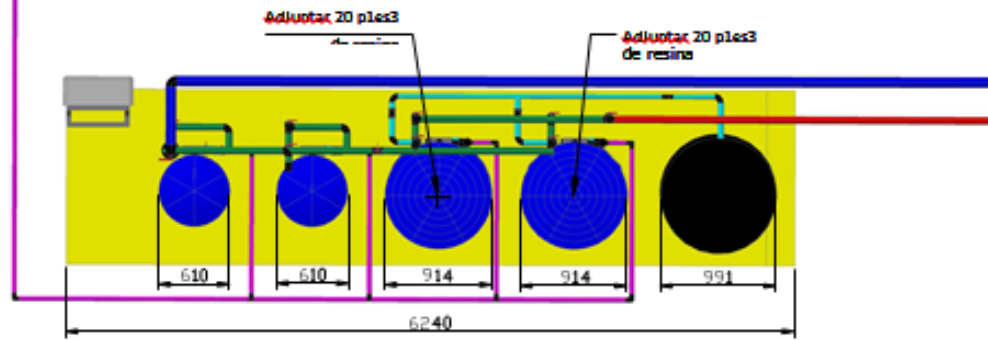
BS Donnelly # 44964 Part 02/10 ©2010 Culligan International Company.


All trademarks and trade names are registered trademarks of Culligan International Company. Products manufactured or installed by Culligan and its affiliates are protected by patents issued or pending in the United States and other countries. Culligan reserves the right to change the specifications referred to in this literature at any time, without prior notice.



Printed on recycled paper.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO



| | | | |
|-----------------------|-----------------------|---|-----------|
| Tolerancia: | Peso: | Material: ACERO INOXIDABLE 304L | |
| Fecha: | Nombre: | Título: | Escala: |
| Diseño: [signature] | Revisado: [signature] | DISEÑO DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO | 1: 40 |
| Revisado: [signature] | Revisado: [signature] | Número de lám.Ins: 01 - 01 | Registro: |
| Revisado: [signature] | Revisado: [signature] |  | |

INTRODUCCIÓN

El agua además de ser el líquido vital para los seres vivos, es aprovechada hace décadas por la humanidad en el sector industrial, para el beneficio común de la sociedad a través de procesos productivos, los mismos que con el paso del tiempo han sido estudiados y optimizados gracias a la investigación científica y a los avances tecnológicos.

Con el paso del tiempo se ha ido identificando la importancia que tiene la energía eléctrica para el progreso económico y social de una región, en los últimos años se ha experimentado una creciente demanda en el sector eléctrico, lo que conlleva a la construcción de procesos de generación eléctrica haciendo de esta actividad un sector estratégico en el país.

El Ecuador ha venido desarrollando un reto ambicioso denominado el cambio de la matriz productiva, el cual apoya la investigación, desarrollo e inversión en energías renovables, las mismas que usan recursos teóricamente inagotables; la energía hidráulica está dentro de las energías limpias, es decir garantizan el cuidado del medio ambiente al sustituir la obtención de energía eléctrica por combustible fósiles.

La electricidad en el Ecuador en su mayoría proviene de fuentes hidroeléctricas, las cuales transforman la energía hidráulica que posee una corriente de agua, en energía eléctrica mediante un conjunto de operaciones mecánicas, equipos y sistemas, que garantizan el uso eficiente y el adecuado aprovechamiento del recurso agua; así también, se la usa en estas instalaciones para procesos específicos como el sistema de agua de enfriamiento y agua de sello que son sistemas auxiliares para la producción de energía eléctrica.

En el país la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC-EP es la responsable de la generación y transmisión de energía eléctrica, tiene a cargo trece unidades de negocio distribuidas a lo largo de la región ecuatoriana, para el abastecimiento de energía eléctrica al país por medio del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. CELEC-EP tiene como principal actividad el apoyo y participación en procesos investigativos relacionados con el objeto primordial, que es la generación de energía eléctrica para cubrir la demanda que el país tiene.

En la región central del Ecuador, en la Provincia de Tungurahua, Municipio de Baños de Agua Santa entre la cuenca media y baja del Rio Pastaza se encuentra la Central Hidroeléctrica San Francisco, una de las tres centrales a cargo de la Unidad de Negocio Hidroagoyán (UNHAG) CELEC-EP.

La Central San Francisco se encuentra en operación desde el año 2007, la singularidad de este proyecto es que por medio del túnel de interconexión, nuevamente se aprovecha el caudal de agua usado para la generación eléctrica de la Central Agoyán. El flujo de agua después de haber utilizado es devuelto a su cauce normal en el Río Pastaza.

El proceso de producción de energía eléctrica de la Central San Francisco requiere de la materia prima, en este caso es el recurso agua; la misma que es distribuida y conducida hacia las turbinas de las dos unidades generadoras, haciendo girar cada uno de los ejes para la transformación de la energía hidráulica del agua en energía mecánica, para finalmente ser transformada en energía eléctrica por los generadores.

Dentro del proceso de producción de energía eléctrica en la Central San Francisco están incluidos elementos, que en conjunto garantizan el funcionamiento óptimo de las unidades generadoras, uno de estos elementos es el denominado sello del eje el cual tiene como principal función impedir el paso de agua turbinada desde el rodete hacia el exterior; el sello del eje incluye un sistema de inyección de agua llamada agua de sellos, usada para el enfriamiento de las piezas que se encuentran en constante rozamiento evitando así su calentamiento y rápido desgaste, otra función del agua de sello es anular el paso del agua del rodete hacia el exterior, para lo cual ésta es suministrada con una mayor presión que la que posee el agua en la zona del rodete.

El agua utilizada actualmente en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco, es proveniente de un conjunto de infiltraciones, las cuales son recolectadas y canalizadas para su posterior aprovechamiento. El agua recolectada es conducida hacia un sistema de filtros, para luego ser almacenada en el tanque de infiltraciones. Desde aquí es distribuida a cada uno de los sellos de las turbinas.

Las infiltraciones de agua es un proceso que se da de manera natural por fenómenos hidrológicos, debido a las propiedades del agua, hacen que tenga la capacidad de modificarse o adquirir características al pasar por las diferentes capas del suelo, haciéndola moderadamente dura, es decir, químicamente, con un contenido medio de iones Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}).

La dureza del agua es monitoreada mensualmente por personal que labora en la empresa, llevando un control de la misma, es medida en unidades de mg/L o ppm de Carbonato de Calcio (CaCO_3). Estos monitoreos nos dan a conocer que el agua de entrada actual en el sello del eje de la turbina está por encima de la dureza máxima recomendada por el fabricante de los equipos.

El contenido de dureza no recomendada del agua actualmente utilizada, produce la acumulación constante de carbonatos al interior del sistema, lo que podría ocasionar posibles fallas en el mismo. Estos depósitos pueden aumentar la presión al interior del sistema provocando un desequilibrio en todo el sistema de generación eléctrica. Actualmente se realiza monitoreos de presión al interior del sello de eje, valores que permiten evaluar el estado del sello de eje.

Los procesos de ablandamiento se han venido desarrollando de manera extensa y exitosa en procesos industriales dirigidos para la disminución de la dureza. La técnica de ablandamiento tiene como principio químico el intercambio iónico por medio de la aplicación de resinas, sustituyendo así los iones que provocan los problemas de incrustaciones dentro del sistema por iones de menor carácter incrustante, mejorando así la calidad del agua usada en procesos industriales.

Existe un estudio realizado sobre el tema de investigación para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de Ciencias – ESPOCH de la ciudad de Riobamba, tesis realizada por la misma facultad en la Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo. En el cual se describe el sistema de ablandamiento diseñado para el agua de cisternas, donde se considera la calidad del agua; el sistema está planteado para agua de alta dureza, la misma que trae consecuencias de incrustaciones en los equipos utilizados; se aplicó el tipo de Metodología Analítica, como también el análisis de intercambio iónico para el sistema de ablandamiento. En los resultados se detalla la disminución de la dureza, lo cual genera una considerable disminución de las incrustaciones y por ende el aumento de la vida útil de los equipos. (Martínez & Idrobo, 2012, p.6)

De las indagaciones adicionales realizadas, se encontró una tesis de la Universidad Politécnica Salesiana, realizada por la Carrera de Ingeniería Mecánica sobre el diseño y construcción de un ablandador de agua para el laboratorio de termodinámica de la Universidad. En conclusión del análisis de la documentación se describe que el proceso de ablandamiento químico llevado a cabo con resinas produce agua con bajo contenido de dureza. (Cervantes, 2015, p.13)

También se encontró documentación relevante y relacionada a la parte experimental donde se recomienda incluir un estudio de las propiedades del agua, determinación de la dureza del agua, también se realizan pruebas para la selección del tipo de ablandador iónico, para el funcionamiento del mismo se debe tomar en cuenta los ciclos de funcionamiento y los principios del diseño. Uno de los puntos más importantes es la determinación del caudal, lo cual nos va a ser de utilidad para el dimensionamiento del sistema de ablandamiento.

ANTECEDENTES

La región centro del Ecuador posee características climáticas específicas que hacen de la zona un lugar con un elevado contenido de humedad debido a los procesos y ciclos naturales que en el lugar se dan. Atribuyendo propiedades a los recursos naturales de la zona.

Dentro de los procesos hidrológicos tenemos la infiltración, por medio de la cual el contenido de agua que se encuentra en la superficie de la tierra pasa al suelo, este fenómeno está gobernado por dos fuerzas, la gravedad y la acción capilar, las mismas que dependen de varios factores como la textura y estructura del suelo, el tipo de vegetación que predomina en la zona, el contenido de agua que posee el suelo, la temperatura e intensidad de precipitación de la región. (Forsythe, 1980, p.157)

En la Central San Francisco se aprovecha el caudal de las infiltraciones en varios sistemas auxiliares, el agua de infiltraciones proveniente de la montaña es conducida para abastecer al tanque de infiltraciones, por medio de un sistema de bombas el agua es succionada y sale del tanque con un caudal de 185,2 m³/h, de los cuales 8,4 m³/h con 7,4 bar de presión son conducidos hacia el sistema de filtrado, pasado el filtro el flujo de agua es conducido y distribuido por tubería de acero inoxidable hacia los dos sellos; a cada sello ingresan 4,2 m³/h (Water Projects S.A, 2015, p. 8, 40)

El agua de infiltraciones al estar en contacto directo con el material edáfico que constituye la tierra, sufre modificaciones en su composición química, debido a las múltiples interacciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en el medio, otorgándole así nuevas características al agua, entre las más comunes está el aumento de iones calcio y magnesio en el agua lo que influye directamente en la dureza de la misma. (Pimienta, 1980, p.179)

En la Central San Francisco se realiza el análisis de la dureza del agua antes de ingresar al sistema de sellos dando como resultados un agua moderadamente dura, lo que conlleva a la generación de incrustaciones al interior del sistema de sello.

JUSTIFICACIÓN

La Central San Francisco de la Unidad de Negocio Hidroagoyán tiene una potencia instalada de 215 MW con dos unidades generadoras, para la producción de energía eléctrica al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. Lo que compromete a la Central a estar operativa y con un funcionamiento óptimo para el aporte de energía eléctrica al País. Esto conlleva al análisis de cada uno de los sistemas que intervienen en la generación eléctrica en la central.

El sistema de enfriamiento emplea una cantidad de agua, que es denominada agua de sellos, la cual cumple funciones como la de evitar el calentamiento de las piezas involucradas y presurizar el sistema. Hasta el momento se ha empleado el agua que es recolectada de las infiltraciones, la cual pasa por un filtro para evitar el ingreso de cuerpos sólidos que puedan dañar los materiales y equipos. En si el agua es suministrada directamente, sin pasar por un tratamiento químico que logre mejorar la calidad de la misma.

Los monitoreos de dureza en el agua de sellos reportan valores fuera de los recomendados por el fabricante del sistema, lo cual trae a discusión los problemas que las acumulaciones de carbonatos de calcio podrían ocasionar al sistema. Se habla de un desgaste en los materiales, así como el aumento de presión al interior del sistema causado por la acumulación de incrustaciones, trayendo como consecuencia la disminución de la eficacia en todo el sistema de generación eléctrica.

La implementación de un sistema de ablandamiento permitirá eliminar o disminuir la dureza del agua usada en el sello del eje de la turbina de cada unidad generadora de la Central San Francisco, mejorando significativamente la calidad del agua y haciendo que cumpla con parámetros previamente establecidos para un adecuado funcionamiento del sistema de sello del eje.

Al optimizar la calidad del agua las piezas del sello del eje no se contaminarán con sedimentos calcáreos e incrustaciones que son la causa de cambios de presión dentro del sistema del sello del eje de las turbinas.

El sistema de ablandamiento también traerá como resultado el aumento de la vida útil del sello del eje de las turbinas, reduciendo costos y frecuencia de ejecución en las actividades de mantenimiento, logrando de esta manera optimizar los recursos empleados para la generación de energía eléctrica.

Para ello es de vital importancia la verificación del sistema de ablandamiento a nivel de laboratorio. Con el diseño propuesto en el presente trabajo, se va a realizar una serie de pruebas con el fin de comprobar la efectividad del sistema de ablandamiento seleccionado.

La simulación del ablandamiento a escala laboratorio nos dará a conocer los beneficios que posee, las principales características que debe tener para su óptimo funcionamiento, las condiciones y consideraciones que se deben tomar en cuenta para que el sistema cumpla con su objetivo, que garantice la disminución de la dureza a valores adecuados.

Todas estas medidas adoptadas darán como resultado un mejor funcionamiento de las unidades generadoras de la Central San Francisco y de manera directa al cumplimiento de la razón social que posee la UNHAG que es la generación de energía eléctrica para el país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar a escala de laboratorio el sistema de ablandamiento del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco UNHAG CELEC-EP usando el principio de intercambio iónico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización física, química del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco.
- Analizar la caracterización físico-química del agua de sello de eje de las turbinas de la Central San Francisco, para verificar la aplicabilidad del ablandamiento por resinas de intercambio iónico.
- Determinar la influencia del agua actualmente usada en el sello de eje de las turbinas de la Central San Francisco al interior del sistema.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de ablandamiento del agua de sello del eje de las turbinas a emplearse en la Central San Francisco.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua

El agua es uno de los factores ambientales que junto con factores químicos y físicos dieron origen a la vida en el planeta. Es el líquido indispensable para el desarrollo de la vida en la Tierra. Químicamente es una molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). (Manahan, 2007, p.4)

Se la puede encontrar de forma natural en sus tres estados físicos como son: sólido, líquido y gaseoso. Constituye a la tierra, aproximadamente en un 71% de la superficie de la misma, de los cuales un 97% del agua se localiza en los océanos y solo un 3% es agua dulce. El agua ejerce una doble acción en la corteza terrestre, una de ellas debido a su alto poder disolvente al contacto con varias sustancias y, por otro lado, por su acción como agente erosivo modificando el relieve. (Toledo, 2006, p.26)

El ciclo del agua inicia con la evaporación debido a la acción del sol sobre los cuerpos hídricos, el vapor de agua se eleva y condensa en forma de nubes, finalmente el agua cae por su propio peso, a este fenómeno lo denominamos precipitación, una parte del agua al llegar a tierra es aprovechada en diferentes procesos por los seres vivos, el agua que no es aprovechada se infiltra en el suelo formando así los cuerpos de agua subterránea o llega a cuerpos de agua superficial gracias al proceso de escorrentía. (Nebel & Wright, 1999, p.266)

El agua natural puede contener una gran variedad de impurezas o sustancias ya seas en suspensión o diluidas, otorgadas por el ciclo hidrológico que el recurso sufre previamente; el contenido de impurezas en el agua causa efectos indeseables, ya sea para uso doméstico o industrial, generando problemas a la infraestructura con incrustaciones o corrosividad, deteriorando los materiales y equipos empleados para el aprovechamiento. (Romero, 2009, p.13)

1.2. Agua para uso industrial

Con el paso del tiempo el agua, debido a su disponibilidad y bajo costo, ha sido usada por los seres humanos en distintos procesos industriales. Entre las aplicaciones más comunes dentro de la industria está el uso del agua para calderos y para procesos de enfriamiento, o como medio de transporte y también se la usa como materia prima al aprovechar la energía hidráulica que las corrientes de agua poseen, estos procesos constituyen operaciones de gran importancia para el cumplimiento de un objetivo común en el desarrollo de la sociedad. (Ortuño, 2006, p.94).

Cada proceso industrial requiere características especiales del agua, exenta de determinados contaminantes, dependiendo del proceso de aprovechamiento del recurso.

El tipo de tratamiento al que debe ser sometida el agua dependerá directamente de uso final; tratamientos mínimos para la eliminación de sustancias corrosivas o incrustantes, el agua usada para el procesamiento de alimentos debe estar libre de patógenos y sustancias tóxicas.

Si se da un tratamiento impropio al agua de uso industrial puede ocasionar problemas como corrosión, formación de incrustaciones al interior del sistema, problemas de transferencia de calor y contaminación de los productos. Lo que lleva a un incremento en costos por reparación de materiales y equipos, mayor requerimiento energético, trayendo como consecuencia disminución de productividad y eficiencia del proceso. (Manahan, 2007, p.207)

1.3. Impurezas del agua

Dependiendo el origen del agua esta puede contener impurezas como partículas suspendidas, coloidales o en suspensión, las mismas que varían de tamaño. Estas impurezas si no son tratadas pueden ocasionar inconvenientes a nivel industrial, para la eliminación de estas sustancias se procede a tratamientos como la sedimentación, de ser el caso, si las partículas son demasiado pequeñas, se requiere de la formación de agregados por medio de agentes coagulantes, los mismos que ayudan a la decantación de los complejos formados y de esta manera lograr una separación exitosa de las partículas del agua. (Weber, 1979, p.64)

El agua que es subterránea posee impurezas debido a su paso a través de los diferentes estratos del suelo. Al ser aguas naturales están constituidas por sustancias químicas suspendidas o disueltas que modifican las características y propiedades del agua. (Romero, 2009, p.20)

1.3.1. Clasificación de las impurezas del agua

La clasificación de las impurezas se da de manera general por el tamaño que estas poseen así tenemos:

- Partículas suspendidas: son aquellas que poseen de diámetro un micrón (1μ). Este tipo de partículas por lo general son retenidas con facilidad en los filtros convencionales. Debido a su tamaño otorgan al agua un aspecto turbio. (Llata, 2003, p.160)
- Partículas coloidales: su diámetro es menor a 1μ hasta $1 \times 10^{-3} \mu$. La velocidad de sedimentación de estas partículas es casi nula debido a su tamaño. (Llata, 2003, p.160)
- Iones y moléculas disueltas: son partículas cuyo diámetro es inferior a $1 \times 10^{-3} \mu$. Generalmente son iones de carga positiva o negativa, cationes y aniones respectivamente, con enlaces iónicos haciendo que el agua tenga la propiedad de conducir corriente eléctrica. (Llata, 2003, p.160)

1.4. Características fisicoquímicas del agua industrial

1.4.1. *Temperatura*

La temperatura del agua es un factor físico, definido como el contenido relativo de calor en un cuerpo de agua. Este factor tiene una influencia en los demás parámetros del agua, esencialmente afecta a las reacciones químicas propias del agua y a la solubilidad de sales, lo que influye en la determinación de dureza del agua. (Ramos, Sepúlveda & Villalobos, 2003, p.74)

1.4.2. *Potencial de hidrógeno (pH)*

El pH está determinado por la cantidad de iones hidronio (H_3O^+) que posee el agua; este determina si la sustancia es de carácter ácido o alcalino mediante una escala de 0 a 14 donde, los valores inferiores a 7 corresponden a una sustancia ácida, valores superiores a 7 pertenecen a sustancias alcalinas, mientras que el punto 7 identifica a una sustancia neutra. El valor adecuado de pH del agua dependerá del uso final que se desee dar. (Pancorbo, 2011, p.148)

La determinación del pH se realiza mediante el pH-metro, que es un instrumento analítico usado a nivel de laboratorio.

1.4.3. *Conductividad eléctrica*

El parámetro físico de la conductividad eléctrica se refiere a la capacidad que posee un cuerpo de agua para conducir electricidad, la cual depende de la cantidad de sales disueltas en el agua, es por ello que tiene una relación con el parámetro de dureza. (Rigola, 1990, p.28)

La conductividad es medida por lo general en Microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Según el valor de conductividad se puede clasificar al agua por su calidad. El valor para un agua pura se encuentra entre $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ considerando una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Rigola, 1990, p.29)

1.4.4. *Turbidez*

La turbidez es definida como la dificultad que el agua posee para dejar pasar o transmitir la luz en línea recta a través de una muestra; se da por la presencia de material en suspensión, o de carácter coloidal los cuales tienen una velocidad de sedimentación nula. Es decir el valor de la turbidez del agua dependerá de la cantidad de sustancias en suspensión que esta posea. (Rigola, 1990, p.28)

Para la determinación de la turbidez comúnmente se la realiza con el turbidímetro, los resultado se expresan en NTU, unidad nefelométrica de turbidez. La eliminación de la turbidez es necesaria la aplicación de varios métodos como la coagulación, sedimentación y filtración. (Weber, 1979, p.66)

1.4.5. *Alcalinidad*

Es la capacidad que posee el agua para el proceso de neutralización de ácidos, definido también como la cantidad total de concentración de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos contenidos en un cuerpo de agua. Las fuentes naturales de agua adquieren estas sustancias responsables de otorgarle alcalinidad al agua, debido a su propiedad de dilución al estar en contacto con los diferentes componentes del suelo. (Rodríguez & Marín, 1999, p.231)

Se expresa como mg/L de CaCO_3 y según el valor obtenido se puede realizar una valoración de los niveles de alcalinidad, Tabla 1-1

Tabla 1-1 Niveles de Alcalinidad

| Valoración | Alcalinidad (mg/L de CaCO₃) |
|-------------------|---|
| Muy Baja | < 12.3 |
| Baja | 24.6 - 41.0 |
| Media | 41.0 – 98.4 |
| Alta | 98.4 – 147.6 |
| Muy Alta | > 147.6 |

Fuente: Pancorbo, F. J, 2011, p.142

1.4.6. Dureza Total

El Calcio y Magnesio metales alcalinotérreos son principales responsables de la concentración de dureza en el agua. Estos iones provocan deficiencia en la formación de espuma al contacto del agua con detergentes, lo que influye en el rendimiento del proceso. La dureza total causa inconvenientes en la industria por la generación y acumulación de depósitos minerales en los materiales y equipos. (Manahan, 2007, p.221)

Suele expresarse en miligramos por litro de Carbonato de Calcio (mg/l de CaCO₃) o en partes por millón (ppm), según la concentración de dureza del agua se la puede clasificar, obteniendo las categorías que se presentan en la Tabla 2-1 (Pancorbo, 2011, p.137). Existen dos tipos de dureza, estas son:

- **Dureza permanente o no carbónica**

Atribuida por la concentración de sulfatos, cloruros y nitratos de los Calcio y Magnesio, los cuales no pueden ser eliminados del agua por el proceso de ebullición, que al no poder ser eliminados, tiene la capacidad de precipitar formando costras indeseables en los sistemas. (Pancorbo, 2011, p.137)

- **Dureza Temporal o carbónica**

Es denominada temporal por la eliminación de los bicarbonatos de calcio y magnesio presentes en el agua, mediante ebullición, donde son descompuestos en carbonatos y pueden precipitar. La formación de incrustaciones calcáreas va a depender de la temperatura a la que llega en agua. El agua puede ser agresiva o incrustante, características que deben ser tomadas en cuenta para su uso industrial. (Pancorbo, 2011, p.137-138)

La dureza total de aguas naturales se debe al paso de las mismas por el suelo y sus formaciones rocosas, otorgándole cantidades de carbonatos por la interacción del agua con los constituyentes de las rocas. Estas sustancias poseen una solubilidad muy baja haciendo que se produzcan incrustaciones. (Sawyer et al, 2001, p.564)

La dureza es un parámetro que se debe tomar en cuenta si la aplicabilidad del agua es en el área industrial, ya que si las concentraciones son elevadas puede generar inconvenientes por la generación de incrustaciones afectando potencialmente a los materiales y equipos. (Odetti & Bottani, 2006, p.105)

Tabla 2-1 Clasificación del agua según la Dureza

| Denominación | Dureza (mg/L de CaCO₃) |
|----------------------|--|
| Blanda | 0-50 |
| Moderadamente Blanda | 50-100 |
| Ligeramente Dura | 100-150 |
| Moderadamente Dura | 150-200 |
| Dura | 200-300 |
| Muy Dura | >300 |

Fuente: Pancorbo, F. J, 2011, p.137

1.5. Índice de Langelier

El índice de saturación o índice de Langelier, es aquel que nos permite conocer el potencial que un cuerpo de agua posee para ser agresiva o corrosiva, se determina según las características fisicoquímicas de temperatura, pH, alcalinidad y dureza total del agua. Calcula si las sales insolubles presentes en el agua se encuentran en saturación. (Jiménez, 2001, p.131)

En la industria es muy importante el cálculo del índice de saturación del agua que va a servir como materia prima o se la aplica en procesos alternos, ya que con él se puede predecir si va a ocasionar incrustaciones al interior de tuberías y equipos o va a corroer los mismos.

Los valores del Índice de saturación poseen las siguientes denominaciones:

- Si el Índice de Langelier es < -0.5 , corresponde a un agua de carácter corrosiva por su contenido ácido, ocasionando la constante absorción de los metales pesados constituyentes de los materiales con los que el agua está en contacto. (Rodríguez & Marín, 1999, p.258)
- Si el Índice de Langelier es $> +0.5$, equivale a un agua de carácter incrustante, lo que origina la sedimentación de compuestos como el Carbonato de Calcio, fenómeno denominado calcificación, afectando a equipos y materiales ocasionando principalmente obstrucción de paso del flujo normal. (Rodríguez & Marín, 1999, p.258)
- Si el Índice de Langelier es $= 0$, es agua se encuentra en equilibrio. (Rodríguez & Marín, 1999, p.258).

1.6. Tratamiento de Aguas Industriales

La disminución o eliminación de las impurezas por medio de operaciones o procesos físicos, químicos o biológicos, es la definición de tratamiento de aguas. Someter a un cuerpo de agua a un

determinado proceso con la finalidad de mejorar su calidad y asegurar su aplicabilidad en la industria. (Martínez & Idrobo, 2012, pp.24)

En la industria cada proceso requiere de un determinado tipo de calidad del agua dependiendo su aplicabilidad, es por ello que el agua utilizada en un sistema puede ser totalmente inadecuada para otro. (Powell, 1987, pp. 13).

La importancia de otorgarle un tratamiento adecuado, radica en el aprovechamiento adecuado del agua en la industria, de los recursos materiales y económicos. Para la selección del tratamiento es necesario conocer el principio de cada proceso. (Rigola, 1990, p.12). Un tratamiento inapropiado al agua para uso industrial puede ocasionar problemas de corrosión, generación de incrustaciones, así como reducción en procesos de transmisión de calor, el deficiente suministro de agua. (Manahan, 2007, p.207)

El tratamiento va a depender de las sustancias presentes en el agua no deseadas para el proceso industrial, y la calidad exigida por el mismo. Las fuentes de agua natural por lo general no se encuentran aptas para su uso directo en la ingeniería de procesos. Al existir una gran variedad de procesos para mejorar la calidad del agua, la decisión es por lo general dependiendo al costo del sistema de tratamiento. (Rigola, 1990, p.43).

1.6.1. *Métodos de Tratamiento*

Los métodos de tratamiento de aguas para uso industrial tienen por objetivo garantizar la calidad y la adecuada suministración del líquido en los procesos u operaciones unitarias. Incluyen también los procesos de control. (Pancorbo, 2011, p.243)

Los tratamientos para el agua cuyo destino es el uso industrial, se clasifican en dos grandes grupos dependiendo de su intervención en el proceso principal. Así tenemos:

1.6.1.1. *Tratamientos externos*

Son aquellos que se efectúan en una fase previa al proceso de utilización del agua en la industria. Es decir que el tratamiento no influye directamente en el proceso principal. Tiene como finalidad que el agua a ser aprovechada ingrese al sistema con las características y condiciones necesarias. Incluye tratamientos como el ablandamiento, desmineralización, desgasificación y también el pretratamiento, el cual cumple las funciones de eliminar impurezas y adecuar el agua para su tratamiento final. (Orozco, Pérez, González, Rodríguez & Alfayate, 2003, p.182)

1.6.1.2. *Tratamientos internos*

Se involucran con el proceso principal ya que se aplican en el momento y en el lugar en donde se aprovecha el agua, por lo general son procesos de acondicionamiento. (Orozco, et al., 2003, p.183). En su mayoría son aplicados en las pequeñas industrias. (Pancorbo, 2011, p.243)

1.7. Filtrado

Proceso unitario que tiene por finalidad la separación de partículas sólidas contenidas en un cuerpo de agua, para lo cual el medio acuoso pasa a través de membranas porosas, llamadas también lecho filtrante, el cual retiene a los sólidos, obteniendo el líquido libre de partículas sólidas. El proceso industrial de filtración comúnmente empleado, es el de profundidad, en donde se requiere de un lecho filtrante, como la arena o en carbón. (Marín, 2003, p.175)

En el mecanismo físico de filtración, se debe tomar en cuenta las propiedades fisicoquímicas del material en suspensión, del lecho filtrante y del agua. (Weber, 1979, p.147)

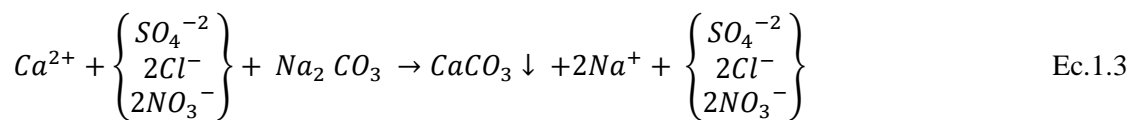
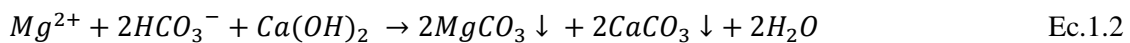
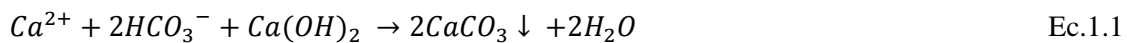
1.8. Ablandamiento

Es un proceso físico-químico, cuya finalidad es la reducción de los iones Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) principales metales divalentes responsables de la dureza del agua. De manera general el agua dura es impropia si su uso final es en la industria. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

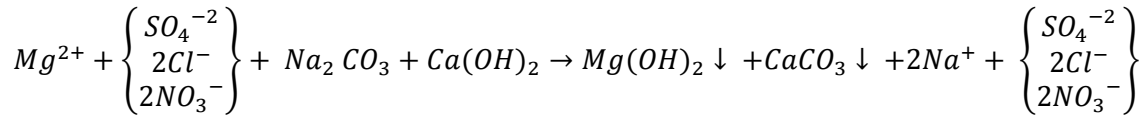
1.8.1. Ablandamiento con Cal-soda

Mediante el Óxido de Calcio (CaO) o también llamada cal, se reduce la dureza temporal o carbónica, y para la disminución de la dureza permanente o no carbónica se emplea la soda o Carbonato de Sodio Na_2CO_3 . Eliminando la dureza por un conjunto de reacciones químicas que producen la precipitación de compuestos insolubles. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

El proceso se resume en las siguientes ecuaciones químicas: (Weber, 1979, p.299)



Ec.1.4



La cal sufre un proceso de hidratación al ser añadida al agua, pasando a Hidróxido de Calcio ($Ca(OH)_2$), Ec. 1.1, convirtiendo las sustancias químicas presentes en compuestos insolubles, como lo es el Carbonato de Calcio ($CaCO_3$), Ec.1.1. Mientras que la adición soda precipita el Magnesio como Hidróxido de Magnesio ($Mg(OH)_2$), Ec.1.4. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

Este tipo de tratamiento requiere de suministradores de químicos, reguladores de pH, equipo de homogenización, un sistema de sedimentación, filtros y disposición de lodos. (Weber, 1979, p.299)

La aplicación de una cantidad considerable de químicos es considerada una desventaja, se requiere llevar un control del proceso, la dureza del agua no es eliminada íntegramente. (Orozco, et al, 2003, p.176)

1.8.2. *Ablandamiento por intercambio iónico*

El intercambio iónico es una operación unitaria que se da por medio de un cuerpo en fase sólida, con la característica de ser insoluble en agua, contiene en su estructura iones cargados positivamente o negativamente, dependiendo su aplicabilidad. (Laitinen & Harris, 1982, p.534).

El proceso de ablandamiento, se da por la sustitución de los iones contenidos en la fase líquida, por iones de la misma carga presentes en el material intercambiador iónico. (Manahan, 2007, p.223). Modificando cualitativamente, la composición química del intercambiador iónico y del agua. (Marín, 2003, p.182)

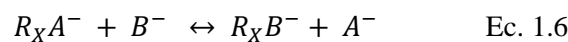
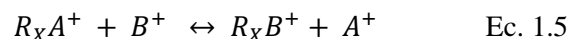
1.9. Resinas de intercambio iónico

Las resinas, macromoléculas de carácter insoluble, que mediante enlaces covalentes se encuentran unidas a grupos ionizables o grupos polares, ácidos o básicos. (Primo, 1996, p.442; Brown & Sallee, 1977, p.543). Esta cadena de polímeros esféricos o granulares posee la característica de eliminación o sustitución selectiva de iones. (Rigola, 1990, p.73)

Los intercambiadores iónicos pueden ser resinas naturales o sintéticas, las cuales remplazan los compuestos responsables de la dureza en el agua, por elementos que no la generen. Para lo cual es necesario que el agua dura, tenga contacto con el material sólido de intercambio. Una de las ventajas de este método de ablandamiento es que las resinas utilizadas en el intercambio iónico pueden ser regeneradas, por su reacción química reversible. (Orozco, et al, 2003, p.176)

El ablandamiento generalmente consiste en la sustitución de los iones Calcio y Magnesio, por iones Sodio o Hidrógeno, los primeros contenidos en el agua a tratar quedan inmovilizados en la resina, mientras que los otros cationes son liberados en el efluente de agua. Obteniendo una reducción total de la dureza. (Henry & Heinke, 1999, p.408)

De manera general el proceso de intercambio iónico se da según la siguiente ecuación. Ec. 1.5 y Ec 1.6 para intercambio catiónico y aniónico respectivamente. Es una reacción reversible, en donde R_XA , representa a la resina contenida con el ion A y B^n simboliza al ion de interés a ser cambiado, tenido como resultado la retención del ion en la resina. (Orozco, et al, 2003, p.177)



1.9.1. *Clasificación de las resinas*

1.9.1.1. *Según su estructura de red*

1.9.1.1.1. *Resina Microporosas*

Denominadas resinas tipo gel, el tamaño de los poros de esta resina es reducido, por ello las llaman también microporosas. Son resultado de la polimerización entre el divinilbenceno y el estireno. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.87)

1.9.1.1.2. *Resina Macroporosas*

Llamadas macroreticulares, son constituidas por poliestireno y divinilbenceno. Se diferencian de las resinas tipo gel por su mecanismo de formación mediante un co-solvente, el cual se incluye a las cadenas poliméricas, y es desechado al constituirse la forma rígida del polímero. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.88)

1.9.1.1.3. *Resina Isoporosas*

El tamaño de sus poros relativamente uniforme, hace que su capacidad permeable de iones sea mayor, se caracterizan por su elevada capacidad de intercambio, el proceso de regeneración es eficiente y su costo en el mercado comercial es menor, en comparación con las macroporosas. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.88)

1.9.1.2. *Según su grupo funcional*

1.9.1.2.1. Resina catiónica de ácido fuerte

Sustituye iones cargados positivamente. Son sintetizadas por la sulfonación entre el polímero y ácido sulfúrico, siendo este último el grupo funcional (-SO₃), Figura 1-1, tiene la capacidad de funcionar a cualquier pH, por lo que su aplicabilidad es extensa. Para su regeneración es necesario una cantidad elevada de regenerante. (Avilla, 2002, p.22)

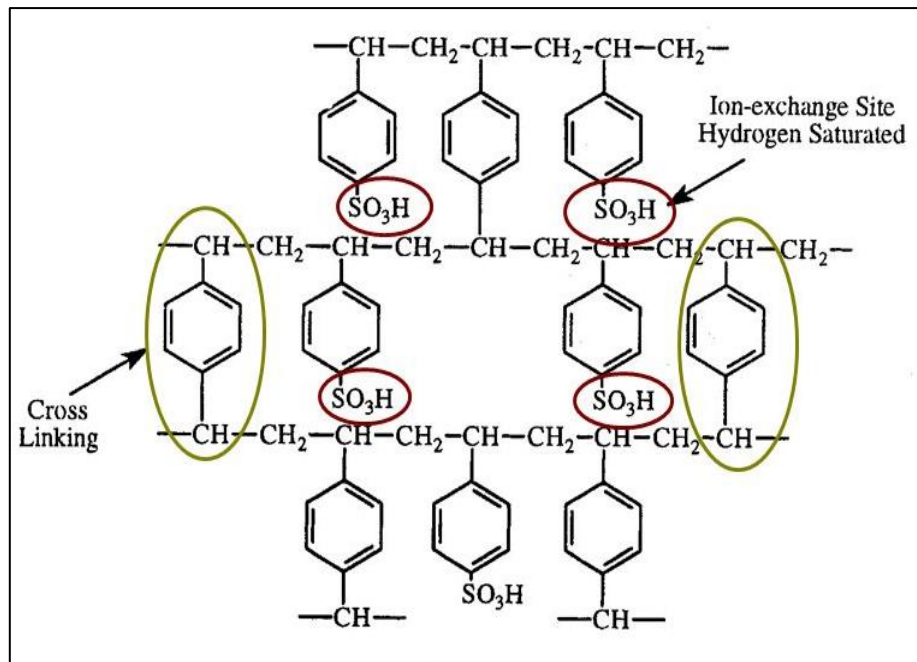
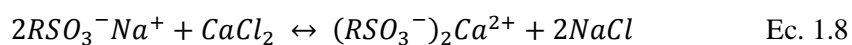
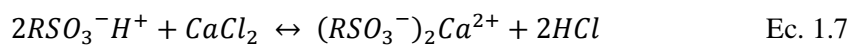


Figura 1-1 Resina Catiónica de ácido fuerte

Fuente: Pasto & Johnson, 1981



1.9.1.2.2. Resina catiónica de ácido débil

Tiene como grupo funcional al ácido carboxílico (COOH), o al hidroxilo (OH). , Figura 2-1, (Laitinen & Harris, 1982, p.535), su capacidad de intercambio es menor que las resinas catiónicas de ácido fuerte, la expansión de las partículas es elevado, siendo este un factor a ser considerado para su aplicación, la funcionabilidad de la resina disminuye a pH bajos. Requiere una menor cantidad de regenerante. (Avilla, 2002, p.22)

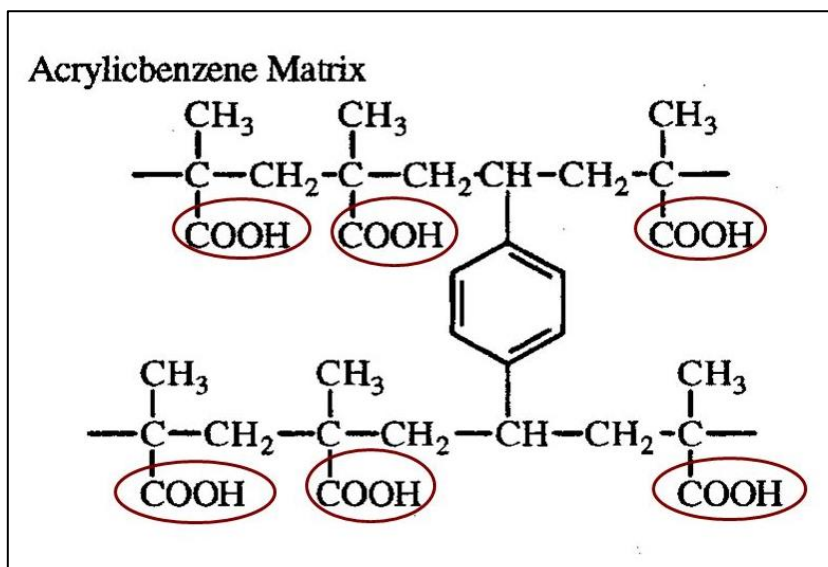
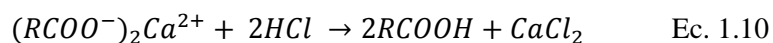
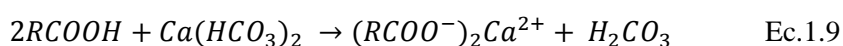


Figura 2-1 Resina Catiónica de ácido débil
Fuente: Pasto & Johnson, 1981

1.9.1.2.3. Resina aniónica de base fuerte

Son obtenidas mediante la reacción entre copolímeros de estireno-divinilbenceno clorometilados con aminas. Posee como grupo funcional a la sal de amonio cuaternario (R_4N^+). Intercambia a los iones cargados negativamente, su regeneración comúnmente se realiza con elevadas cantidades de sosa. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.88). Figura 3-1.

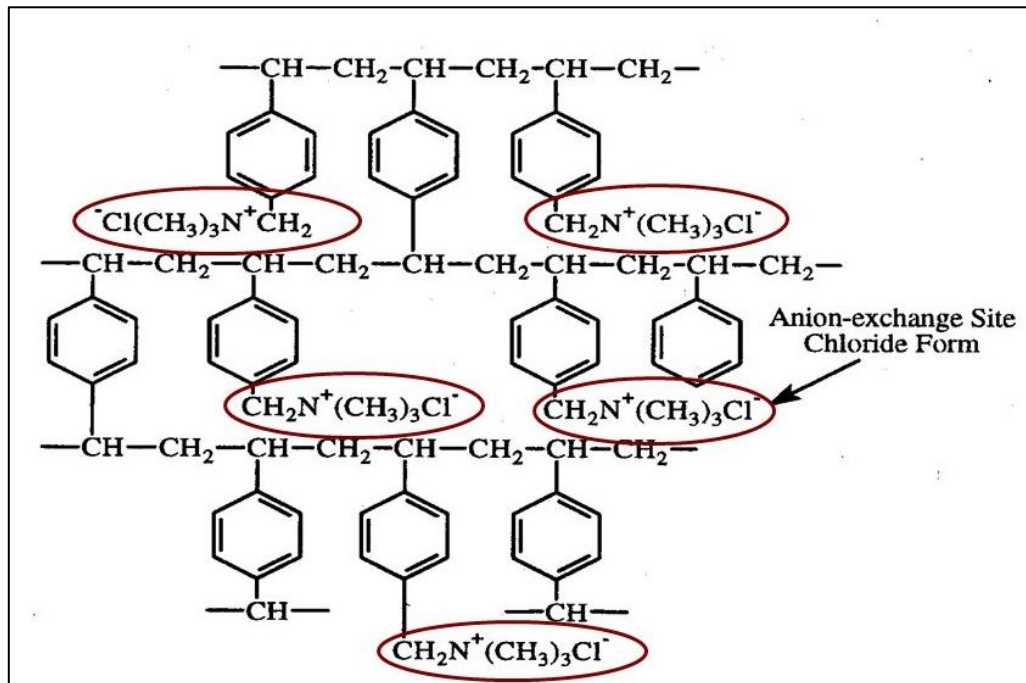


Figura 3-1 Resina Aniónica de base fuerte

Fuente: Pasto & Johnson, 1981

1.9.1.2.4. Resina aniónica de base débil

Su grupo funcional es la poliamina, Figura 4-1, el cual tiene la capacidad de descartar ácidos fuertes, o la acidez mineral libre contenida en el efluente de cationes. Su proceso de regeneración es eficiente con cantidades limitadas de base como el hidróxido de sodio. Son empleadas en aguas con elevadas concentraciones de sulfatos o cloruros, con el fin de purificar el agua. (Avilla, 2002, p.22)

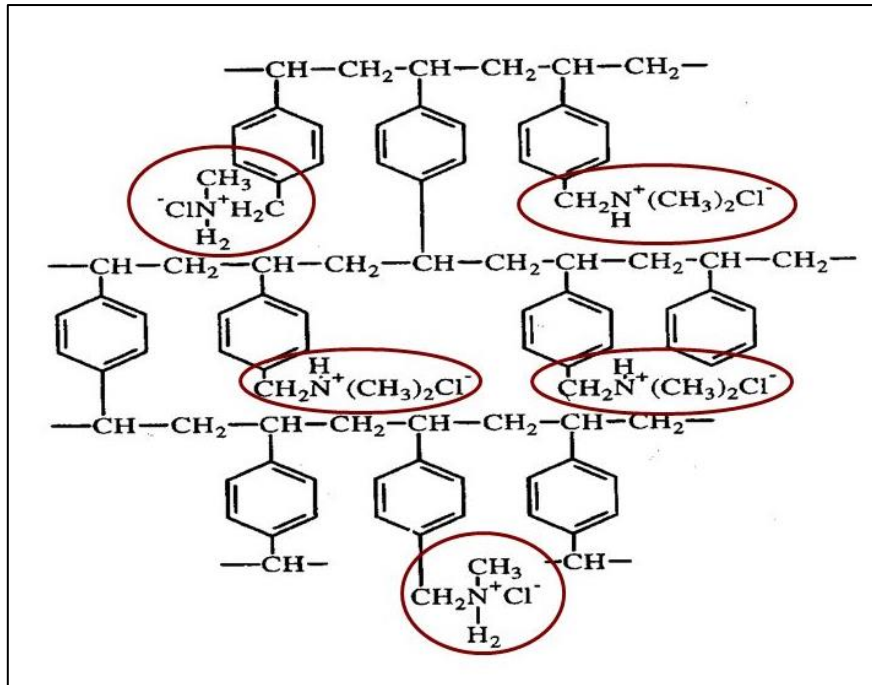


Figura 4-1 Resina Aniónica de base débil

Fuente: Pasto & Johnson, 1981

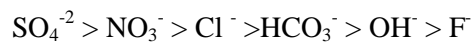
1.9.2. *Selectividad de las resinas*

Las resinas poseen la propiedad de selectividad, debida a la afinidad por los diferentes iones, se aprovecha esta propiedad para la eliminación de ciertos elementos que constituyen al agua. El orden de selectividad se describe a continuación. (Dardel, 2016)

Resina catiónica



Resina aniónica



En muchos de los casos la eliminación de ciertos iones se debe realizar con resinas sintéticas creadas específicamente para alcanzar la sustitución, la dificultad de exclusión se debe a la competencia entre elementos. En este grupo tenemos principalmente: Boro, Niquel, Cromato y Uranio. (Dardel, 2016)

1.10. Resina Purolite C 100

Todos los productos de Purolite tienen son elaborados para cumplir con las más altas exigencias. La Resina Purolite C 100, es catiónica de ácido fuerte, tipo gel, con la capacidad de reemplazar todos los iones Calcio y Magnesio por iones Sodio. La sustancia regeneradora es el cloruro de sodio (NaCl). Es de color ámbar con forma esférica. Su aplicabilidad se extiende a procesos de ablandamiento y desmineralización a escala industrial. La Tabla 3-1 sintetiza las principales propiedades, mencionadas en la ficha técnica de la Resina Purolite C 100.



Figura 5-1 Resina Catiónica
Fuente: Carbotecnia®

Tabla 3-1 Principales propiedades de la Resina Purolite C 100

| Propiedades | Valor |
|-----------------------------|-----------------|
| Capacidad total | 2.0 eq/L |
| Tamaño de partículas | 300-1200 micras |
| Dilatación reversible (max) | 8% |
| Peso (aprox) | 800-840 g/L |
| Temperatura límite | 120 °C |

Fuente: Purolite®

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

1.11. Intercambio iónico en Columna

El mecanismo de intercambio iónico por lo general se realiza en columna, por ser un proceso en continuo. En este método la membrana intercambiadora de iones o resina, se encuentra de forma empaquetada al interior de la columna, por la cual pasa el agua a ser tratada, permitiendo una sustitución completa de los iones involucrados en el intercambio. Una de las ventajas de esta técnica radica en que la reacción reversible entre la resina y el medio acuoso, sea completa y se pueda aprovechar la disposición de los elementos para el proceso de regeneración. (Walton & Reyes, 2005, p.297)

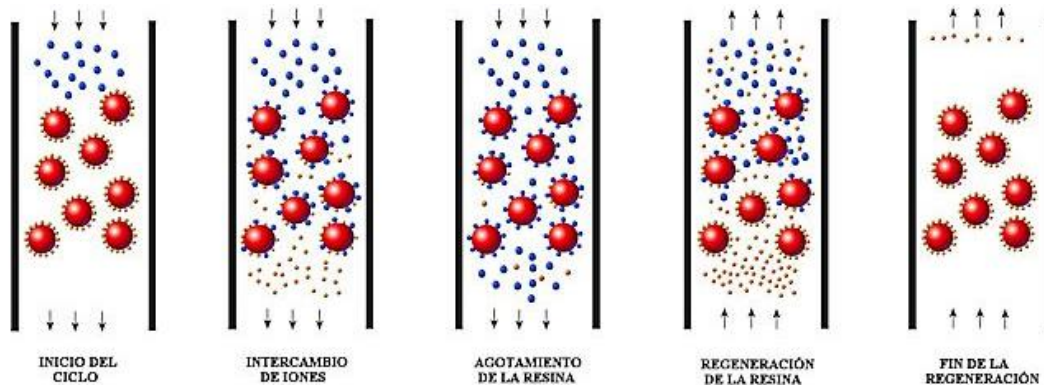


Figura 6-1 Proceso de intercambio iónico con resina.

Fuente: AQUATRACTA

En la Figura 6-1 se observa el proceso de ablandamiento del agua empleando un lecho de resina como intercambiador iónico, las capas de resina que tienen contacto con el agua cruda son las primeras en saturarse, el principal proceso de sustitución de iones se da en la parte más lejana al ingreso del flujo de agua, donde se genera una división entre la región saturada y la zona donde la resina aún se encuentra en óptimas condiciones para la transferencia de iones, este fenómeno hace que se genere una gradiente de concentración en las diferentes zonas de intercambio a lo largo de la columna. (McCabe, Harriott & Smith, 2002)

1.11.1. *Etapas del Proceso de Intercambio Iónico en Columna.*

1.11.1.1. *Etapa de Servicio*

Es la etapa en donde se efectúa el intercambio iónico, el agua a tratar fluye constantemente por la columna en donde se encuentra contenida la resina. Es el ciclo en donde ocurre el ablandamiento del agua, es en este ciclo en donde se ajusta la velocidad de flujo. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.51) En la Figura 7-1 se representa la etapa de servicio.

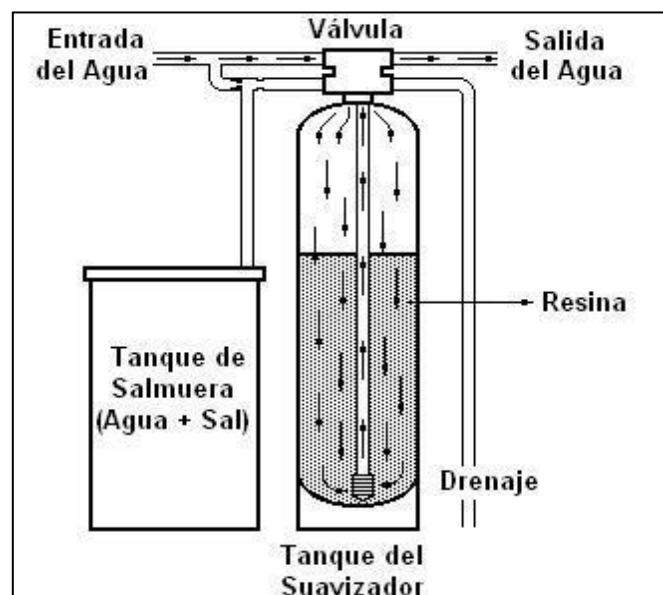


Figura 7-1 Etapa de Servicio

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.2. *Etapa de Retrolavado*

Es considerada la primera etapa de regeneración de la resina, en donde ocurre el retrolavado, Figura 8-1, con el fin de expandir la resina en toda la columna, liberándola de la posible turbidez presente en el lecho, así como también sedimentos que se acumulan durante el proceso de servicio del ablandador. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.51)

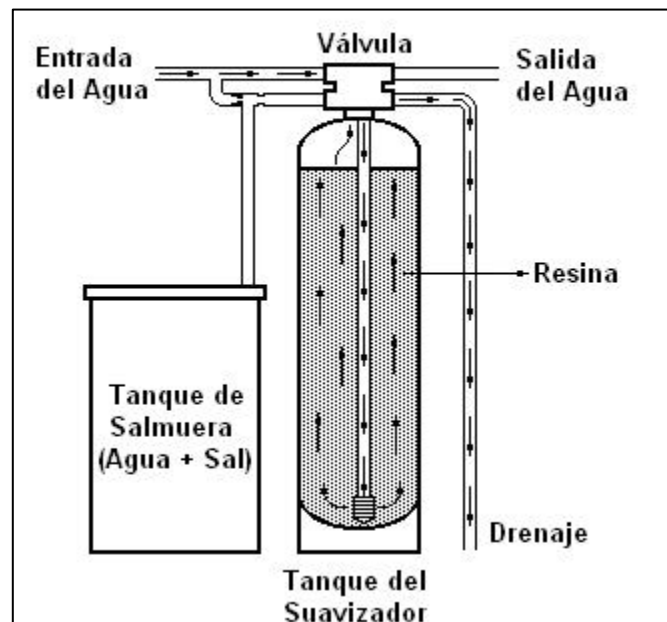


Figura 8-1 *Etapa de Retrolavado*

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.3. *Etapa de Regeneración de Resina*

La resina se desgasta durante la etapa de servicio por la sustitución de iones, llegando a un punto denominado, saturación, en el caso particular, para la regeneración de la resina se aplica una solución de Cloruro de Sodio, llamada también solución de salmuera, la cual se hace fluir por el lecho de resina con la finalidad de retirar los iones calcio y magnesio, sustituyéndolos por sodio. (Manahan, 2007, p.225)

1.11.1.3.1. *Regeneración co-corriente*

Es la regeneración en donde el flujo de la solución regenerante se hace pasar en la misma dirección que el agua a tratar. Requiere de excesivos volúmenes de salmuera para realizar una sustitución de los iones, la misma que es desigual en las capas de la resina. (Dardel, 2016). Figura 9-1

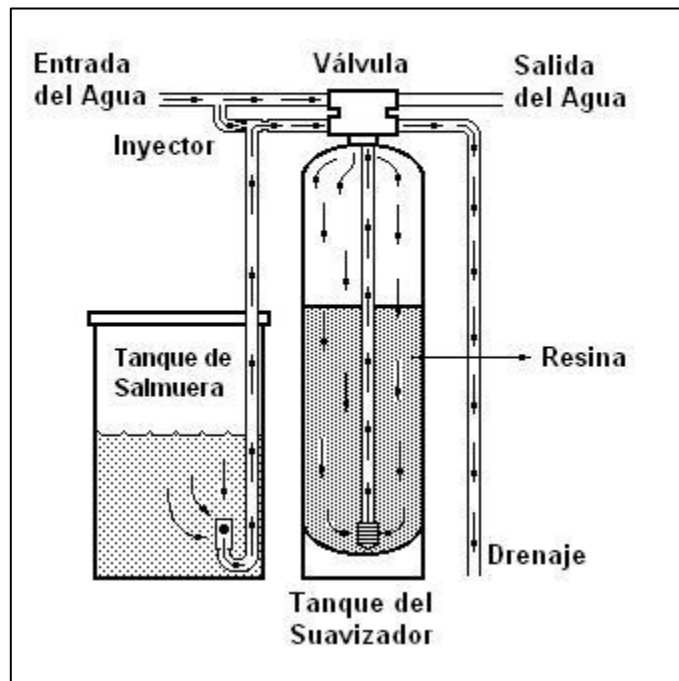


Figura 9-1 Etapa de Regeneración

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.3.2. *Regeneración contra-corriente*

Es aquel proceso en donde la salmuera se hace fluir en sentido opuesto al del agua a ser tratada, siendo este el método más eficiente para esta etapa, la fuga iónica es baja, la cantidad de regenerante es menor en comparación con el anterior método. (Dardel, 2016)

1.11.1.4. *Etapa de Enjuague lento*

En esta etapa se hace fluir el agua cruda, Figura 10-1, una vez terminada la regeneración de la resina. Tiene como propósito, eliminar los restos de solución salina, así como también una completa recuperación de la resina y la adaptación de la misma para el nuevo proceso de ablandamiento. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.53)

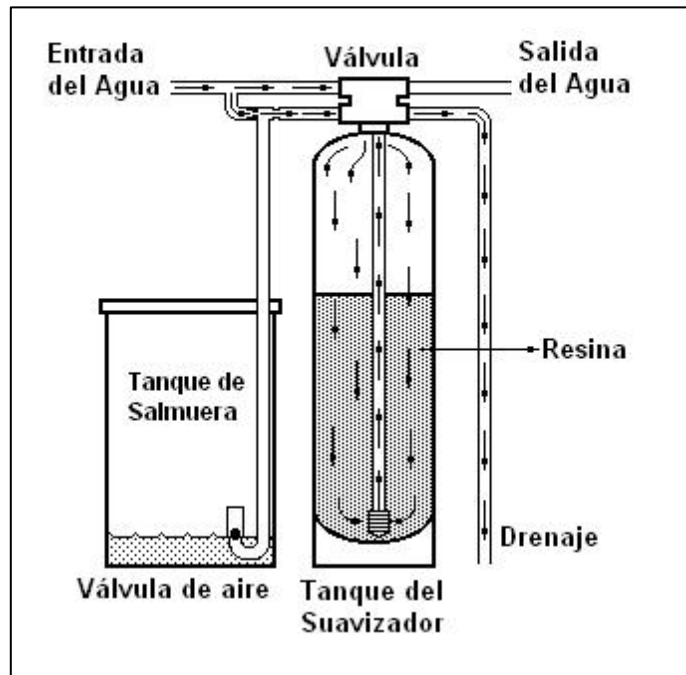


Figura 10-1 *Etapa de Enjuague Lento*

Fuente: V & P Asesores, S.A

1.11.1.5. *Etapa de Enjuague rápido*

La etapa de enjuague rápido, en donde se pasa un flujo a mayor velocidad para lograr una compactación de la resina, y la eliminación total de salmuera. (Hidalgo & Guamán, 2006, p.53)

1.11.1.6. *Etapa de Llenado del tanque de Salmuera*

Esta etapa cumple una función importante, que es la preparación del tanque de salmuera para la siguiente regeneración de la resina. Proceso que se puede realizar en paralelo con la incorporación del ablandador al nuevo ciclo de tratamiento.

1.11.2. *Parámetros de Diseño de Intercambio Iónico en columna*

1.11.2.1. *Curva de ruptura*

El proceso de intercambio iónico tiene un tiempo determinado de funcionabilidad, en el cual la sustitución de iones cesa, por lo que en el efluente se obtienen las condiciones iniciales, este transcurso es denominado tiempo de ruptura (t_R). La determinación de la concentración vs el tiempo nos da la curva de ruptura. Figura 11-1. (Rodríguez, 1995, p. 331)

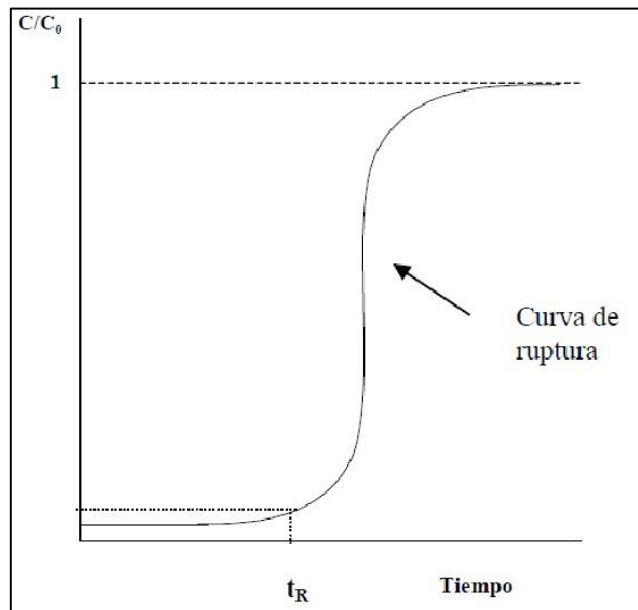


Figura 11-1 Concentración del efluente – tiempo
Fuente: Rodríguez, Universidad de Catilla

1.11.2.2. Capacidad de intercambio iónico

La resina posee una capacidad de intercambio definida como la cantidad de iones que son inmovilizados por gramo de resina. La elección de la resina dependerá de la capacidad de intercambio iónico que posea y que condiciones son las que se desean obtener. (McCabe, Harriott & Smith, 2002)

La determinación de la capacidad de intercambio se efectúa mediante el cálculo del área de la curva de ruptura, obtenida con la variación de concentraciones durante el proceso y la concentración inicial. Figura 12-1; y el peso de la resina utilizada. (Rodríguez, 1995, p. 331)

$$q_o = \frac{\text{Área sobre la curva de ruptura} \times C_o \left(\frac{meq}{L}\right)}{\text{Peso de la resina (g)}} \quad \text{Ec. 1.11}$$

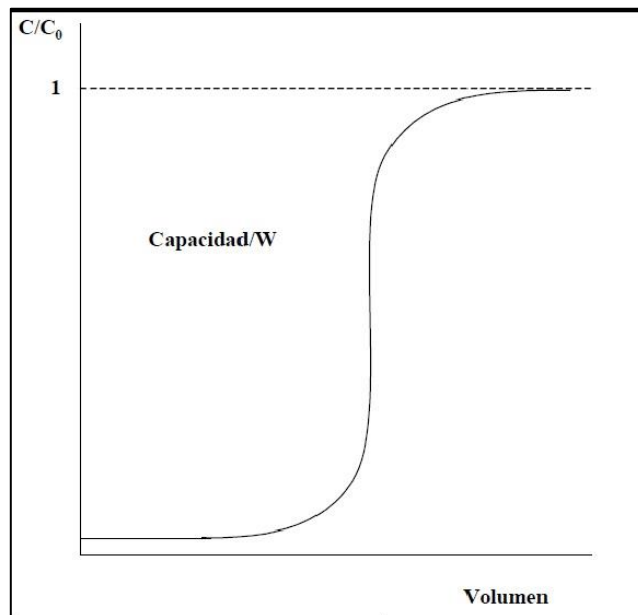


Figura 12-1 Capacidad de Intercambio de la resina
Fuente: Rodríguez, Universidad de Catilla

1.11.2.3. Fracción de Lecho Utilizado

$$\text{Fracción de lecho utilizado} = \frac{\text{cantidad de soluto retenido (meq)}}{q_o \left(\frac{\text{meq}}{\text{g}} \right) \times \text{peso resina (g)}} \quad \text{Ec. 1.12}$$

La fracción de lecho utilizado se obtiene con al Ec. 1.12, y para la determinación de la cantidad de soluto retenido en el transcurso del tratamiento por intercambio iónico se utiliza la curva de ruptura, Figura13-1, y la Ec. 1.13

$$\text{Cantidad de soluto retenido (meq)} = A_t \times C_o \quad \text{Ec. 1.13}$$

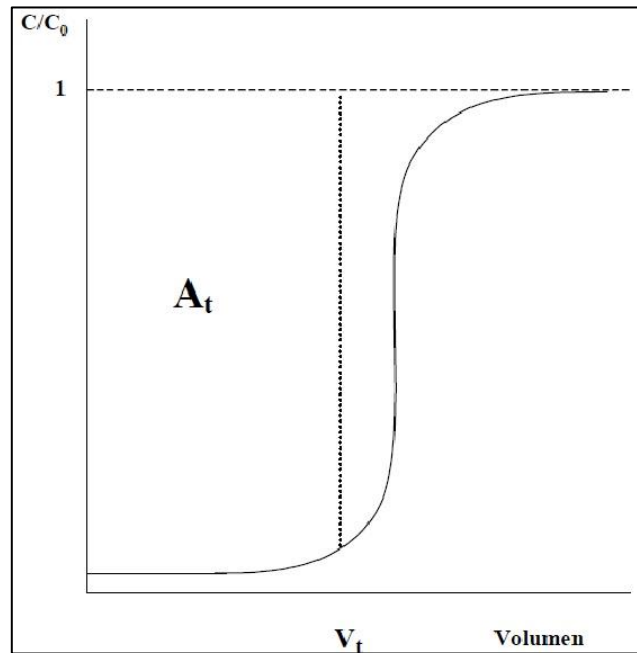


Figura 13-1 Cantidad de soluto retenido
Fuente: Rodríguez, Universidad de Catilla

1.11.2.4. *Eficiencia química de regeneración*

El cálculo de la eficiencia de regeneración dependerá de la cantidad de regenerante dosificado y la capacidad de intercambio iónico de la resina. La eficiencia será mayor del 100%, debido que el proceso de regeneración no es ideal. Ec. 1.14 (Rodríguez, 1995, p. 332)

Eficiencia quim. de regeneración

$$= \frac{\text{Cantidad de regenerante dosificado} \times 100}{\text{Capacidad de Intercambio iónico}} \quad \text{Ec. 1.14}$$

1.11.2.5. *Capacidad de trabajo*

Parámetro radicado en el funcionamiento de la columna de intercambio iónico, se calcula con el producto entre, la dureza, el caudal y considerando un factor de seguridad del 1.25. Ec. 1.15

$$Cap = Q \times D \times fc \quad \text{Ec. 1.15}$$

1.11.2.6. *Expansión de la resina*

El porcentaje de expansión de las resina varía de acuerdo a su composición, si es catiónica o aniónica. La expansión es uno de los factores considerados en las fichas técnicas de las resinas, para su determinación es necesario conocer la altura total de la columna y la altura del lecho. Ec 1.16

$$\%E = \frac{H - h}{h} \quad \text{Ec. 1.16}$$

1.12. Evaluación del Impacto Ambiental

La evaluación del impacto ambiental, EIA, es un proceso que se encuentra ligado a otros, mediante los cuales se identifica los posibles efectos relevantes, sean positivos o negativos ocasionados al ambiente por un conjunto de actividades. Mediante la evaluación se identifican los efectos a corto y largo plazo, así como también se analizan las medidas de mitigación a los impactos negativos. (Pardo, 2002, p.216)

El EIA es en la actualidad un instrumento, empleado en procesos de gestión ambiental. Se lo aplica en la planificación inicial de proyectos, como también en los que se encuentran en ejecución. El EIA pretende estimar las causas y efectos que determinada acción ocasione a la calidad del ambiente. (Gómez & Gómez, 2013, p.195)

1.12.1. Matriz de Leopold

También llamada matriz causa-efecto, es un tipo de evaluación subjetiva cualitativa y cuantitativa. Para la elaboración de la matriz es necesario conocer las acciones o actividades implicadas en el proyecto o proceso a evaluar y los factores ambientales a los cuales estas actividades ocasionen un impacto; y disponerlos en un cuadro de doble entrada. (Pardo, 2002, p.138)

La cuadrícula con cada interacción obtenida es dividida por una diagonal, en la parte superior del recuadro se evaluará la magnitud M, del impacto en una escala del 1-10, precedido del signo + si es un impacto positivo o – si es negativo. En la parte inferior se toma en cuenta la importancia I, como incidencia, también calificado en una escala del 1-10. (Conesa, 2009, p.61)

Los resultados son evidenciados mediante la sumatoria de filas y columnas, la primera nos indica el o los factores ambientales afectados para considerarlos frágiles, mientras que la segunda nos da a conocer la agresividad de cada acción. (Conesa, 2009, p.61)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Muestreo

El agua, proviene de las captaciones a un conjunto de infiltraciones dentro de casa de máquinas, lugar donde opera la Central San Francisco. El agua captada es conducida y almacenada en el tanque denominado tanque de infiltraciones, lugar en donde se realiza la toma de muestras.

Las muestras son simples, ya que se toman en el tanque donde el agua a ser tratada es almacenada y se la recolectó en intervalos de una semana, es decir en un determinado tiempo.

Para la recolección de la muestra se han tomado en cuenta las consideraciones especificadas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2226:2000 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO”.

Previo la realización del muestreo se aseguró de contar con todos los materiales necesarios para el desarrollo de la actividad, tomando en cuenta el lugar en donde se recolectan las muestras y los parámetros a ser analizados in situ.

Las muestras se recolectaron en recipientes de vidrio de un litro para la caracterización inicial del agua, mientras que para la realización del tratamiento se recolectaron cuatro galones en recipientes de polietileno. Los recipientes utilizados son previamente lavados con agua destilada para evitar la

denominada contaminación cruzada y que los datos obtenidos sean únicamente del agua a ser tratada.

Se realizó la preparación de los recipientes, lo cual consistió en un enjuague con el agua a ser muestreada por lo menos de dos veces, posteriormente se toma la muestra real. Se llenó un registro de cada una de las muestras con la fecha en que fue la toma de la muestra para la determinación de la frecuencia.

Para la preservación de la muestra se utilizó la hielera lo cual nos garantiza temperaturas de 2 °C a 5 °C como la norma lo describe, para la conservación de la muestra y la obtención de resultados reales. Se tomó en cuenta que para el método de conservación los recipientes no se llenaron completamente, debido al fenómeno de expansión térmica que se puede dar durante el transporte de la muestra, desde el lugar de origen hasta el laboratorio donde se realizó el análisis.

2.2. Caracterización del agua

La caracterización se la realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se tomaron un total de tres muestras con intervalos de una semana, con el fin de verificar la variación de valores, realizar un promedio obteniendo así resultados representativos de la caracterización inicial del agua.

Existen parámetros que se analizaron el momento de la toma de muestras, ya que pueden variar en el transcurso del tiempo estos son: temperatura del agua, temperatura ambiente y pH; para lo cual se utilizó un medidor multiparamétrico de bolsillo, solo en el caso de la turbidez fue necesario el traslado de la muestra hasta el laboratorio para la medición en el equipo. Los resultados obtenidos se utilizaron para caracterizar en agua.

Los parámetros analizados y los métodos en los que fueron basados se describen a continuación en la Tabla 1-2

Tabla 1-2 Caracterización del agua

| Parámetro | Método |
|----------------------|----------------|
| pH | Electrométrico |
| Temperatura del agua | APHA 2550 B |
| Temperatura ambiente | APHA 2550 B |
| Conductividad | APHA 2510 |
| Turbidez | Nefelométrico |
| Dureza Total | APHA 2340 C |
| Calcio | APHA 3500 Ca-D |
| Magnesio | APHA 3500 Mg-E |
| Alcalinidad | APHA 2320 B |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

2.3. Índice de Langelier

El Índice de Langelier LSI, ha sido calculado para determinar si el agua a tratar posee características corrosivas o incrustantes. Para el cálculo se tomaron en cuenta las condiciones físicas y químicas del agua anteriormente determinadas; estas son: el pH, la temperatura del agua, la dureza y la alcalinidad, las tres últimas deben ser transformadas mediante factores previamente establecidos, los cuales están descritos en la Tabla 2-2.

Una vez determinados todos los factores necesarios pasamos al cálculo del Índice de Langelier LSI mediante la Ec.2.1

$$LSI = pH + TF + HF + AF - 12.5 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Dónde:

pH: es el pH que tiene el agua

TF: Factor de temperatura del agua

HF: Factor de la dureza

AF: Factor de alcalinidad

12.5: Sólidos totales disueltos.

Ya realizado el cálculo se procedió a la interpretación de los resultados.

Tabla 2-2 Tabla de Valores para el cálculo del LSI

| Temperatura | | Dureza | | Alcalinidad | |
|--------------------|-----------|---------------|-----------|--------------------|-----------|
| °C | TF | ppm | HF | ppm | AF |
| 0 | 0.0 | 5 | 0.7 | 5 | 0.7 |
| 4 | 0.1 | 25 | 1.4 | 25 | 1.4 |
| 8 | 0.2 | 50 | 1.7 | 50 | 1.7 |
| 12 | 0.3 | 75 | 1.9 | 75 | 1.9 |
| 16 | 0.4 | 100 | 2.0 | 100 | 2.0 |
| 20 | 0.5 | 150 | 2.2 | 150 | 2.2 |
| 24 | 0.6 | 200 | 2.3 | 200 | 2.3 |
| 28 | 0.7 | 250 | 2.4 | 250 | 2.4 |
| 32 | 0.7 | 300 | 2.5 | 300 | 2.5 |
| 36 | 0.8 | 400 | 2.6 | 400 | 2.6 |
| 40 | 0.9 | 500 | 2.7 | 500 | 2.7 |
| 50 | 1 | 1000 | 3.0 | 1000 | 3.0 |

Fuente: LENNTECH

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

2.4. Método para el Tratamiento de Agua

Para la aplicación del tratamiento al agua se analizó la caracterización inicial de la misma, tomando en cuenta el principal inconveniente identificado, el contenido de dureza, el cual excede los niveles recomendados por el fabricante de los equipos en los cuales el agua es usada.

Para la disminución de la dureza se aplicó el método de intercambio iónico, para lo cual se emplearon pruebas de laboratorio utilizando la resina catiónica Purolite C 100, la cual tiene como propiedad el intercambio de los iones calcio y magnesio por iones sodio, por lo tanto reduce la dureza total en el agua.

Se aplicó el método en columna, en donde emplearon lechos de resina catiónica, haciendo pasar en agua cruda por la parte superior de la columna y obteniendo el agua tratada por la parte inferior del sistema. La resina empleada en el tratamiento se encontraba activada.

Se realizaron un total de 4 pruebas, dos con 25g de resina y dos con 15g de resina, cada prueba con un determinado flujo de entrada y salida del agua. Cada 10 minutos se recolectaban muestras para la determinación de los análisis químicos anteriormente descritos.

Procedimiento

Para la prueba de laboratorio con 25 g de resina catiónica Purolite C 100 activada se realizó el siguiente procedimiento:

- Todos los materiales de laboratorio a ser utilizados en el diseño de la columna para tratamiento del agua tienen que estar previamente lavados.
- Se pesa en la balanza analítica 25g de resina catiónica Purolite C 100 activada
- Se añaden los 25g de resina catiónica Purolite C 100 previamente activada a la columna.

- Para la obtención de uniformidad del lecho de resina en la columna pasamos un flujo de agua destilada por el interior de la columna, hasta lograr un lecho compacto.
- El embudo de separación que contiene de agua a tratar, va en la parte superior del sistema, por medio de este se agregó el volumen de agua determinado, hasta llegar a la saturación de la resina.
- Se ajustó el caudal del sistema.
- Cada 10 minutos se tomaron muestras del agua tratada para el análisis de dureza total, dureza cálcica y alcalinidad. Se llevó un registro con los resultados obtenidos.
- Los resultados finales de dureza total, dureza cálcica y alcalinidad, son expresados calculando un promedio de las muestras tomadas. Se calculó y graficó los resultados obtenidos.

Para las pruebas con 15g de resina catiónica Purolite C 100 activada, se realizó el mismo procedimiento.

2.5. Cálculos

2.5.1. *Volumen de resina (Vr)*

El volumen de la resina se calculó por la diferencia entre el un volumen determinado de agua y el volumen que el cuerpo desaloja al introducirlo en un recipiente.

- Llenar la probeta con un determinado volumen de agua, registrar en volumen (Vo)
- Añadir la cantidad de resina elegida dentro de la probeta y registrar el nuevo dato de volumen (Vf)
- Se realiza el cálculo de la resina con la Ec. 2.2

$$Vr = Vf - Vo \quad \text{Ec. 2.2}$$

2.5.2. *Tiempo de ruptura catiónica (Tr)*

El tiempo de ruptura catiónica se determina con las gráficas de los resultados de dureza total, cálcica y magnésica obtenidos en el laboratorio, tomando en cuenta que el punto de ruptura es cuando se alcanza el nivel máximo recomendado de dureza que son los 60 ppm.

2.5.3. *Iones calcio y magnesio retenidos*

Se expresa como meq de cationes retenidos, se determina con la Ec.2.3

$$\text{meq de cationes retenidos} = Tr * Q * Co \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

Tr: tiempo de ruptura catiónica

Q: Caudal

Co: concentración inicial dureza total en meq/L

2.5.4. *Capacidad de Intercambio Catiónico (CI)*

Para el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico de la resina se utilizó la Ec.2.4

$$CI = \frac{\text{meq de cationes retenidos}}{Vr} \quad \text{Ec. 2.4}$$

2.6. Diseño del sistema de ablandamiento.

Para el diseño del sistema de ablandamiento por intercambio iónico del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco, se tomaron en cuenta los datos y resultados de los análisis químicos obtenidos de forma experimental en el laboratorio.

Se debe tomar en cuenta parámetros como el flujo de agua a tratar es 4.2 m³/h por cada sello, siendo el caudal total 8.4 m³/h para los dos sellos de cada unidad generadora, el sistema opera las 22 horas del día.

2.6.1. Iones calcio y magnesio a reducir por ciclo

Expresado como meq catiónicos a reducir se calcularon con la Ec. 2.5

$$\text{meq de cationes a reducir} = Q_t * \sum C_f \quad \text{Ec. 2.5}$$

Dónde:

Qt: caudal a tratar

Meq a reducir: Diferencia entre meq de cationes iniciales y meq de cationes retenidos.

2.6.2. Volumen de resina catiónica (Vrc)

La determinación del volumen de resina a utilizar se toma en cuenta la capacidad de intercambio catiónico que la resina posee. Se calculó con la Ec. 2.6

$$V_{rc} = \frac{\text{meq de cationes a reducir}}{CI} \quad \text{Ec. 2.6}$$

2.6.3. *Volumen de columna (Vc)*

Se analizó la presencia del fenómeno de expansión en todos los procesos hidrológicos, es por ello que se consideró un 25% de espacio para no tener inconvenientes con este fenómeno. El volumen de la columna se determinó con la Ec. 2.7

$$V_c = \frac{V_{rc}}{0.75} \quad \text{Ec. 2.7}$$

2.6.4. *Área de la columna (Ac)*

Se ha considerado un diámetro (D) de 0.8 m para el cálculo del área de la columna. Ec. 2.8

$$A_c = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad \text{Ec. 2.8}$$

2.6.5. *Altura de la columna (Hc)*

Con la Ec. 2.9 se procedió al cálculo de la altura de la columna.

$$H_c = \frac{V_c}{A_c} \quad \text{Ec. 2.9}$$

2.7. Cálculo de pérdidas en las tuberías

2.7.1. Pérdidas Primarias (h_f)

Las pérdidas primarias son las generadas por la fricción del agua con la superficie de la tubería que la conduce. Para el cálculo de h_f se aplica la Ec 2.10, y para la determinación de las variables que esta ecuación constituye es necesaria la aplicación de las ecuaciones 2.11, 2.13 y 2.13.

$$h_f = \frac{\lambda * L * V^2}{\phi i * 2g} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

λ : Coeficiente de pérdidas por fricción

L: Longitud de la tubería

V: Velocidad

Φi : Diámetro interno de la tubería

- **Velocidad**

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Dónde:

Q: Caudal

A: Área

- **Rugosidad relativa**

$$Rr = \frac{\varepsilon}{\phi i} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Dónde:

ε : Coeficiente de rugosidad absoluta de la tubería

- **Número de Reynolds**

$$NRe = \frac{V * \rho * \phi i}{\mu} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Dónde:

ρ : densidad del agua

μ : Viscosidad dinámica

2.7.2. Pérdidas Secundarias (*hm*)

Son las pérdidas que producen los accesorios dispuestos a lo largo del sistema. Se calcula mediante la Ec. 2.14.

$$hm = \frac{K * V^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Dónde:

K: Sumatoria de las constantes de los accesorios.

2.7.3. *Pérdida Total (ht)*

Es la sumatoria de las pérdidas primarias y las secundarias, como se indica en la Ec. 2.15

$$ht = hf + hm \quad \text{Ec. 2.15}$$

La presión en el flujo de salida se calcula con la ecuación Ec. 2.16

$$P2 = \left(\frac{P1}{\gamma} - ht \right) * \gamma \quad \text{Ec. 2.16}$$

Dónde:

P1: Presión a la que el agua ingresa al sistema

γ : Peso específico del agua

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización del agua

La caracterización del agua previo el tratamiento incluye, análisis físicos, los cuales fueron determinados in situ y cuyos valores se detallan en la Tabla 1-3; En la Tabla 2-3 se muestran los resultados de los análisis químicos desarrollados en el laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Tabla 1-3 Caracterización del Agua – Análisis Físico

| N° Muestra | Fecha | T agua (C°) | T amb (C°) | Ph | Conductividad (µS/cm) | Turbidez (NTU) |
|------------|------------|-------------|------------|------|-----------------------|----------------|
| 1 | 11/11/2015 | 22,9 | 26,2 | 7,55 | 430 | 0,458 |
| 2 | 18/11/2015 | 22,7 | 24,8 | 7,43 | 380 | 0,574 |
| 3 | 25/11/2015 | 22,5 | 28,1 | 7,07 | 420 | 0,356 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

Tabla 2-3 Caracterización del Agua – Análisis Químico

| N° Muestra | Fecha | Dureza total (mg/L) | Dureza Cálcica (mg/L) | Dureza Magnésica (mg/L) | Calcio (mg/L) | Magnesio (mg/L) | Alcalinidad (mg/L) |
|------------|------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| 1 | 11/11/2015 | 192 | 112 | 80 | 44,8 | 19,44 | 100 |
| 2 | 18/11/2015 | 184 | 96 | 88 | 38,4 | 21,38 | 100 |
| 3 | 25/11/2015 | 200 | 96 | 104 | 38,4 | 25,27 | 120 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

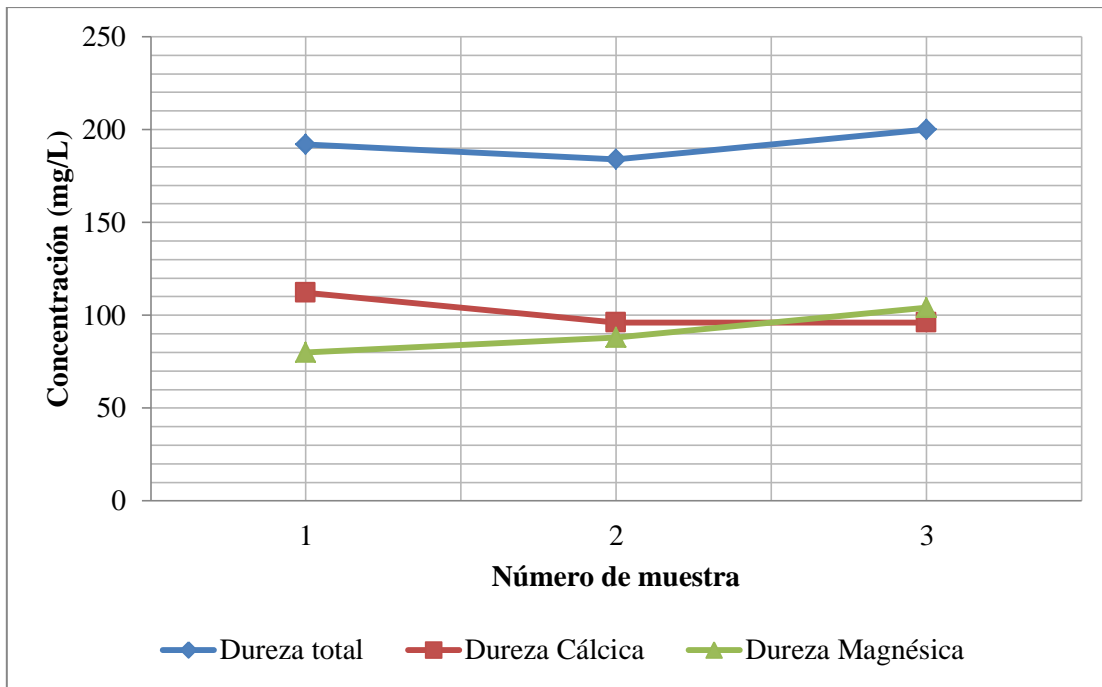


Figura 1-3 Concentraciones de Dureza total, Dureza Cálctica y Dureza Magnésica previo el tratamiento del agua

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Por la relación que existe entre parámetros, en la Figura 1-3 están representados los valores obtenidos de los análisis de Dureza Total, Cálctica y Magnésica de las tres muestras recolectadas, se observan datos por encima de los 80 mg/L, valor más bajo correspondiente a la dureza magnésica de la primera muestra. La dureza total es equivalente a la suma de la dureza cálctica y magnésica, por lo tanto, si solo el menor valor de la dureza magnésica registrado se encuentra fuera del recomendado, el valor de la dureza total se halla muy por encima del mismo.

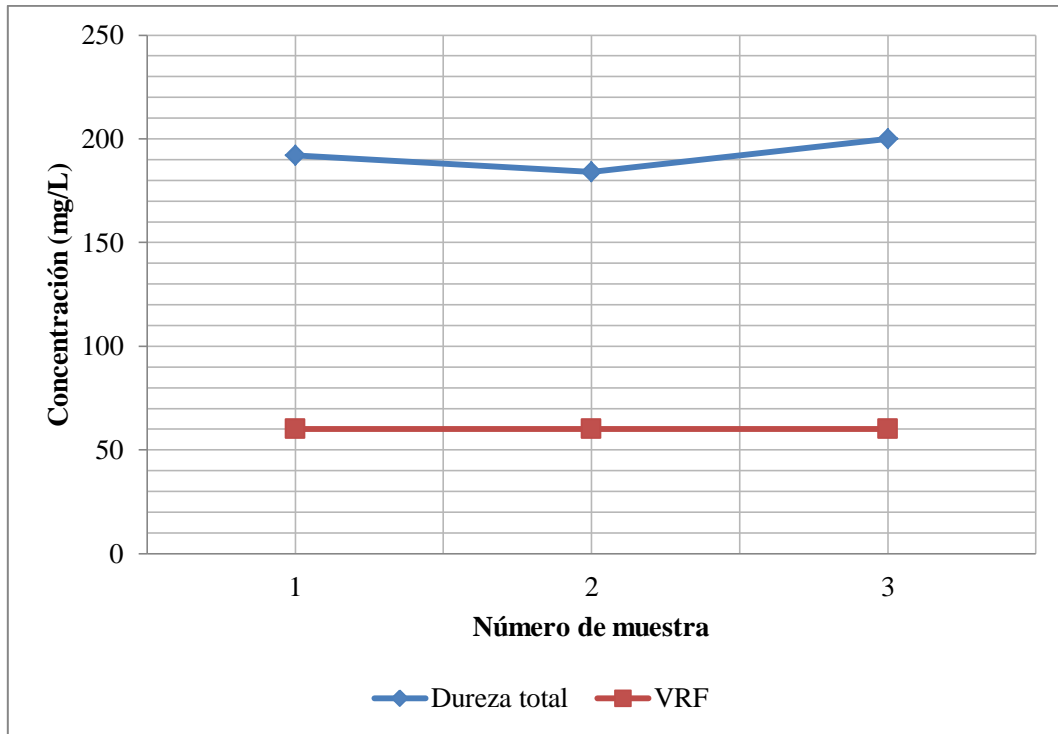


Figura 2-3 Concentraciones de Dureza total previo el tratamiento del agua y Valor recomendado por el fabricante (VRF).

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Según los valores obtenidos de dureza total del agua, se la ubica en la categoría de aguas moderadamente duras, esto es debido al origen de la misma, al ser agua proveniente de infiltraciones es mayor el contenido de los cationes responsables de la dureza, otorgándole esa característica al agua. Sin embargo para propósito final, la calidad del agua actualmente usada en el sello de eje no cumple con la principal especificación que es el de la dureza total, tal y como se muestra en la Figura 2-3. Con el análisis de los resultados obtenidos se sabe que está triplicando el valor máximo recomendado, valor de 60 ppm de Carbonato de Calcio para Dureza total que es recomendado para el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento del sello del eje de las turbinas de la Central.

En la caracterización física del agua no se encuentran valores fuera de los correspondientes a un agua de características normales, interpretando los resultados obtenidos y detallados en la Tabla 1-3, el pH indica que el agua de característica neutra, los bajos valores registrados de turbidez señalan que no hay mayor presencia de partículas en suspensión, los datos de conductividad no superan los 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo que quiere decir que la concentración de sólidos disueltos es promedio, por ende existe una resistencia a la transición de corriente eléctrica.

La temperatura ambiente va a influenciar a la temperatura del agua, ya que intervienen las características climáticas particulares de la región donde se encuentra situada la Central.

En la caracterización química se han analizados parámetros que se encuentren relacionados con la dureza del agua. Se observa en la Tabla 2-3 que hay poca variación de resultados entre las tres muestras recolectadas en las fechas indicadas. Los valores de la dureza total están entre los 184 y 200 mg/L de CaCO_3 , la dureza cálcica es determinada en el laboratorio mientras que la dureza magnésica es determinada matemáticamente.

Se realizó un promedio entre las tres muestras, para la obtención de resultados unificados, los mismos que se manifiestan en la Tabla 3-3. Se obtiene un valor promedio de 192 mg/L CaCO_3 para la dureza total.

Los valores descritos en la Tabla 3-3 son los que se van a considerar como los datos de caracterización inicial del agua de sellos, estos resultados son lo que van a ser utilizados para la realización de determinados cálculos matemáticos.

Tabla 3-3 Valores promedio de la caracterización fisicoquímica del agua previa el tratamiento.

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| T agua | °C | 22.7 |
| T amb | °C | 26.4 |
| pH | -- | 7.35 |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | 410 |
| Turbidez | NTU | 0.46 |
| Dureza Total CaCO ₃ | mg/L | 192 |
| Dureza Cálcica | mg/L | 101 |
| Dureza Magnésica | mg/L | 91 |
| Calcio | mg/L | 40.5 |
| Magnesio | mg/L | 22.03 |
| Alcalinidad CaCO ₃ | mg/L | 107 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.2. Índice de Langelier

El Índice de Langelier se calculó con los resultados de la caracterización inicial del agua que se indican en la Tabla 3-3 y con los factores de transformación para los parámetros de temperatura, dureza y alcalinidad de la Tabla 2-2.

Mediante la aplicación de la Ec 2.1 se determinó el LSI.

$$LSI = pH + TF + HF + AF - 12.5 \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$LSI = 7.4 + 0.6 + 2 + 2 - 12.5$$

$$LSI = -0.5$$

El valor obtenido del Índice de Langelier fue de -0.5 lo que significa que el agua actualmente utilizada posee un leve carácter corrosivo, es decir que no se encuentra saturada con Carbonatos de Calcio, por lo que tiende a desgastar o eliminar las láminas protectoras de Carbonato de Calcio de las tuberías, materiales y equipos con los que el agua se encuentra en constante contacto.

3.3. Tratamiento de Agua por intercambio iónico

Por medio de la caracterización inicial del agua en donde se pudo evidenciar que la Dureza Total se encuentra fuera de los valores recomendados por el fabricante de los equipos en los cuales el agua es empleada, se sugiere un tratamiento para mejorar la calidad de la misma, para no comprometer a los materiales y equipos a posteriores daños, así como también a las posibles fallas del sistema de enfriamiento de los sellos del eje de las turbinas de la Central.

Para el tratamiento de la disminución de la dureza en el agua, se usa el principio de ablandamiento por intercambio iónico, empleando la resina Purolite C 100 la cual cabe mencionar que se encontraba previamente activada con una solución de Cloruro de Sodio NaCl o sal en grano. La resina es catiónica, por lo que tiene la capacidad de intercambiar iones positivos, es de carácter ácido fuerte lo que le permite funcionar a cualquier valor de pH.

El sistema utilizado para el tratamiento del agua en el laboratorio se muestra en la Figura 3-3, en donde se realizó el montaje de la columna de intercambio iónico, sistema de tratamiento del agua para la reducción de la dureza con la resina catiónica Purolite C 100, con la ventaja de poder mantener el control del flujo y el volumen de agua tratada, por la parte superior ingresa el agua cruda y por la parte inferior obtenemos el agua tratada.

Para el tratamiento por intercambio iónico en el laboratorio, se realizaron un total de cuatro pruebas con lecho de resina en columna, dos de ellas con 25g de resina catiónica Purolite C 100 y las dos restantes con 15g de la misma resina. Las pruebas revelaron que a mayor cantidad de resina Purolite C 100 utilizada, mayor duración de la misma antes de llegar al punto de saturación, por lo tanto mayor es el volumen de agua tratada. En los cuatro casos se realizó la toma de muestras cada 10 minutos de tratamiento hasta la saturación de la resina.

Se realizó un promedio con los datos registrados de las dos primeras pruebas realizadas con un lecho de 25g de resina catiónica Purolite C 100. La Tabla 4-3 muestra los resultados de los análisis químicos realizados cada 10 minutos durante el tratamiento del agua por intercambio iónico. El tratamiento finaliza a las 4 horas con 10 minutos, tiempo en el cual ocurre la saturación de la resina.



Figura 3-3 Tratamiento del agua por intercambio iónico con resina Purolite C 100 en el laboratorio.

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

Tabla 4-3 Resultados de los análisis químicos del agua después del tratamiento con 25g de resina catiónica Purolite C 100.

| Tiempo | Dureza Total CaCO₃ (mg/L) | Dureza Cálcica (mg/L) | Dureza Magnésica (mg/L) | Alcalinidad CaCO₃ (mg/L) |
|---------------|---|--------------------------------------|--|--|
| 10" | 20 | 16 | 4 | 100 |
| 20" | 16 | 16 | 0 | 90 |
| 30" | 16 | 16 | 0 | 90 |
| 40" | 12 | 12 | 0 | 100 |
| 50" | 8 | 8 | 0 | 100 |
| 1' | 12 | 8 | 4 | 100 |
| 1'10" | 12 | 8 | 4 | 90 |
| 1'20" | 16 | 12 | 4 | 110 |
| 1'30" | 20 | 12 | 8 | 100 |
| 1'40" | 20 | 20 | 0 | 100 |
| 1'50" | 28 | 24 | 4 | 100 |
| 2' | 28 | 24 | 4 | 100 |
| 2'10" | 36 | 28 | 8 | 90 |
| 2'20" | 44 | 40 | 4 | 80 |
| 2'30" | 80 | 52 | 28 | 100 |
| 2'40" | 108 | 56 | 52 | 100 |
| 2'50" | 136 | 64 | 72 | 110 |
| 3' | 160 | 80 | 80 | 100 |
| 3'10" | 160 | 84 | 76 | 90 |
| 3'20" | 176 | 92 | 84 | 100 |
| 3'30" | 180 | 100 | 80 | 100 |
| 3'40" | 180 | 104 | 76 | 90 |
| 3'50" | 196 | 112 | 84 | 100 |
| 4' | 204 | 116 | 88 | 90 |
| 4'10" | 208 | 120 | 88 | 100 |
| 4'20" | 212 | 120 | 92 | 100 |
| 4'30" | 216 | 120 | 96 | 100 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

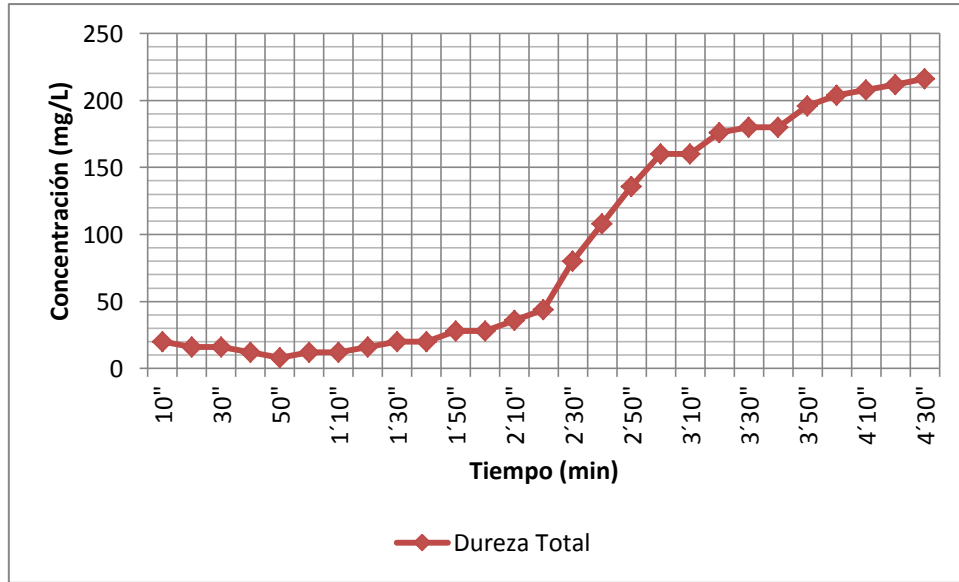


Figura 4-3 Concentración de Dureza Total durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

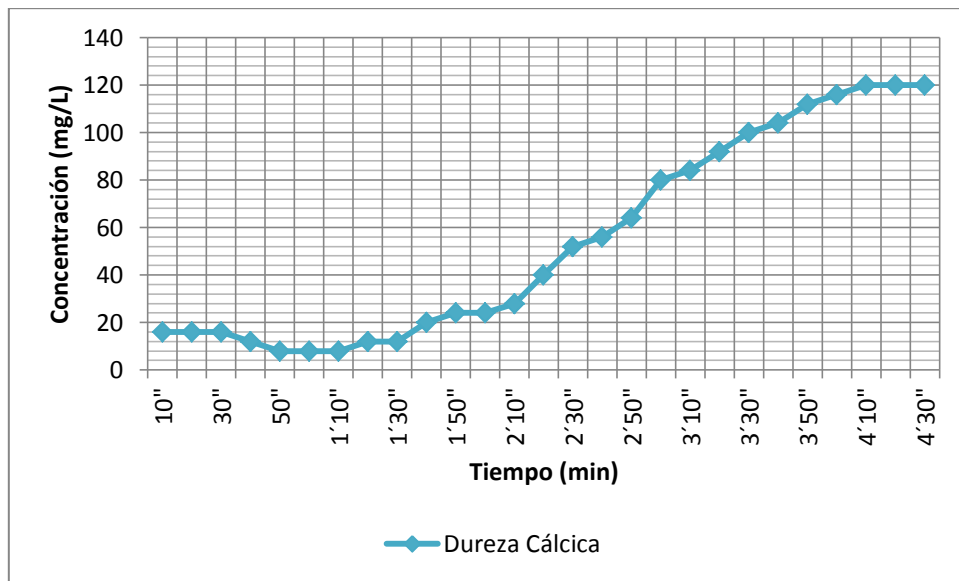


Figura 5-3 Concentración de Dureza Cálcica durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

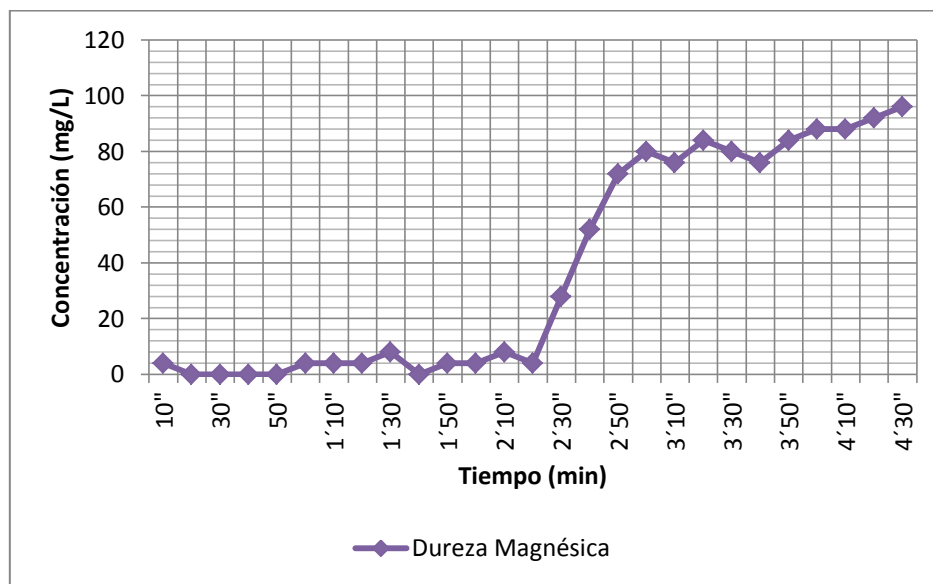


Figura 6-3 Concentración de Dureza Magnésica durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

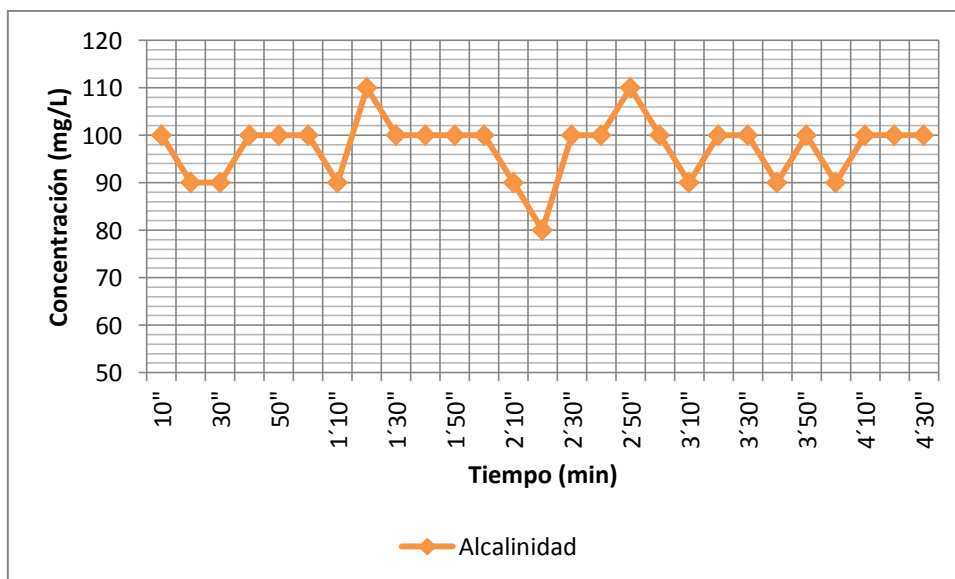


Figura 7-3 Concentración de Alcalinidad durante el tratamiento por intercambio iónico con 25g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Como se puede verificar en la Tabla 4-3 el tiempo de saturación del lecho con 25g de resina catiónica Purolite C 100 ocurre a las 4 horas con 30 minutos, tiempo en el cual la dureza total del agua tratada alcanza los 216 mg/L de CaCO_3 , con un volumen aproximado de 3.755 L de agua tratada. En la Figura 4-3 donde se grafican los resultados se logra visualizar cómo evoluciona la concentración de dureza del agua tratada en el transcurso del tiempo, permanece constante hasta las 2 horas con 20 minutos tiempo en el cual la dureza se mantiene bajo los 50 mg/L, cumpliendo con el valor recomendado por el fabricante. La dureza aumenta a partir de las 2 horas con 30 minutos, tal y como se puede apreciar en la representación gráfica.

Las pruebas realizadas con los 15g de resina catiónica Purolite C 100 obtuvieron como resultados promedio los mencionados en la Tabla 5-3, donde se identifica que el tiempo de saturación de la resina sucede a las 4 horas con 10 minutos de tratamiento, tiempo en el cual se ha tratado 2.375 L de agua, alcanzando en este tiempo una dureza total de 208 mg/L. A las 2 horas con 20 minutos la dureza tiene un valor de 52 mg/L, 32 mg/L para la dureza cálcica y 20 mg/L para la magnésica, mientras que la concentración de alcalinidad no tiene notables varianzas durante el tratamiento del agua, se mantiene entre valores de 110 y 90 mg/L.

Cabe mencionar que en las pruebas realizadas con los 25 y 15g de resina catiónica Purolite C 100 se ajustó un caudal de 20 mL/min, por lo tanto las diferencias de volumen de agua tratada y tiempo de saturación de la resina se las confiere a la cantidad de resina utilizada en el lecho de la columna para el ablandamiento del agua por intercambio iónico.

De las pruebas realizadas, se ha tomado en consideración el tiempo y el costo de la resina, empleados para la ejecución del tratamiento del agua en el laboratorio, seleccionado de esta manera los resultados obtenidos del tratamiento por intercambio iónico en columna con un lecho de 15g de resina catiónica Purolite C 100.

Tabla 5-3 Resultados de los análisis químicos del agua después del tratamiento con 15g de resina catiónica Purolite C 100.

| Tiempo | Dureza Total CaCO ₃ (mg/L) | Dureza Cálcica (mg/L) | Dureza Magnésica (mg/L) | Alcalinidad CaCO ₃ (mg/L) |
|--------|--|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 10" | 20 | 16 | 4 | 110 |
| 20" | 16 | 16 | 0 | 100 |
| 30" | 16 | 16 | 0 | 100 |
| 40" | 16 | 12 | 4 | 110 |
| 50" | 12 | 12 | 0 | 110 |
| 1´ | 8 | 8 | 0 | 100 |
| 1´10" | 8 | 8 | 0 | 100 |
| 1´20" | 12 | 8 | 4 | 100 |
| 1´30" | 16 | 12 | 4 | 100 |
| 1´40" | 20 | 12 | 8 | 100 |
| 1´50" | 28 | 16 | 12 | 90 |
| 2´ | 28 | 20 | 8 | 90 |
| 2´10" | 36 | 28 | 8 | 90 |
| 2´20" | 52 | 32 | 20 | 100 |
| 2´30" | 68 | 40 | 28 | 100 |
| 2´40" | 84 | 48 | 36 | 100 |
| 2´50" | 96 | 56 | 40 | 110 |
| 3´ | 108 | 68 | 40 | 110 |
| 3´10" | 140 | 76 | 64 | 110 |
| 3´20" | 156 | 84 | 72 | 110 |
| 3´30" | 164 | 88 | 76 | 110 |
| 3´40" | 176 | 100 | 76 | 90 |
| 3´50" | 180 | 104 | 76 | 90 |
| 4´ | 196 | 112 | 84 | 100 |
| 4´10" | 208 | 120 | 88 | 100 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2015

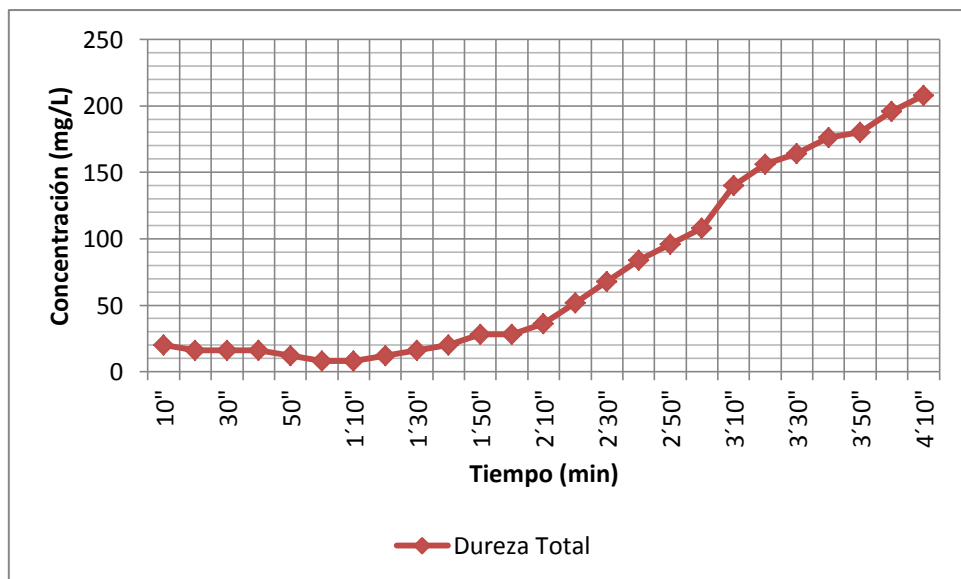


Figura 8-3 Concentración de Dureza Total en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

La Figura 8-3 correspondiente a la variación de la dureza total en el transcurso del tratamiento, se observa la notable disminución este parámetro en el agua al poco tiempo de contacto con la resina catiónica Purolite C 100. La concentración es constante hasta llegar a las 2 horas de tratamiento, a partir de las 2 horas 30 minutos la concentración de dureza aumenta hasta llegar a los 208 mg/L a las 4 horas con 10 minutos, en donde se verifica que la dureza total alcanza las concentraciones iniciales, lo que indica que la resina ha perdido su capacidad de intercambio llegando a la saturación de la misma.

La sumatoria de la dureza cálcica y magnésica da como resultado la dureza total, la misma que para estar dentro del valor recomendado por el fabricante no debe superar los 60 ppm de CaCO_3 , es este valor límite de concentración de dureza total que se considera para determinar el tiempo de ruptura.

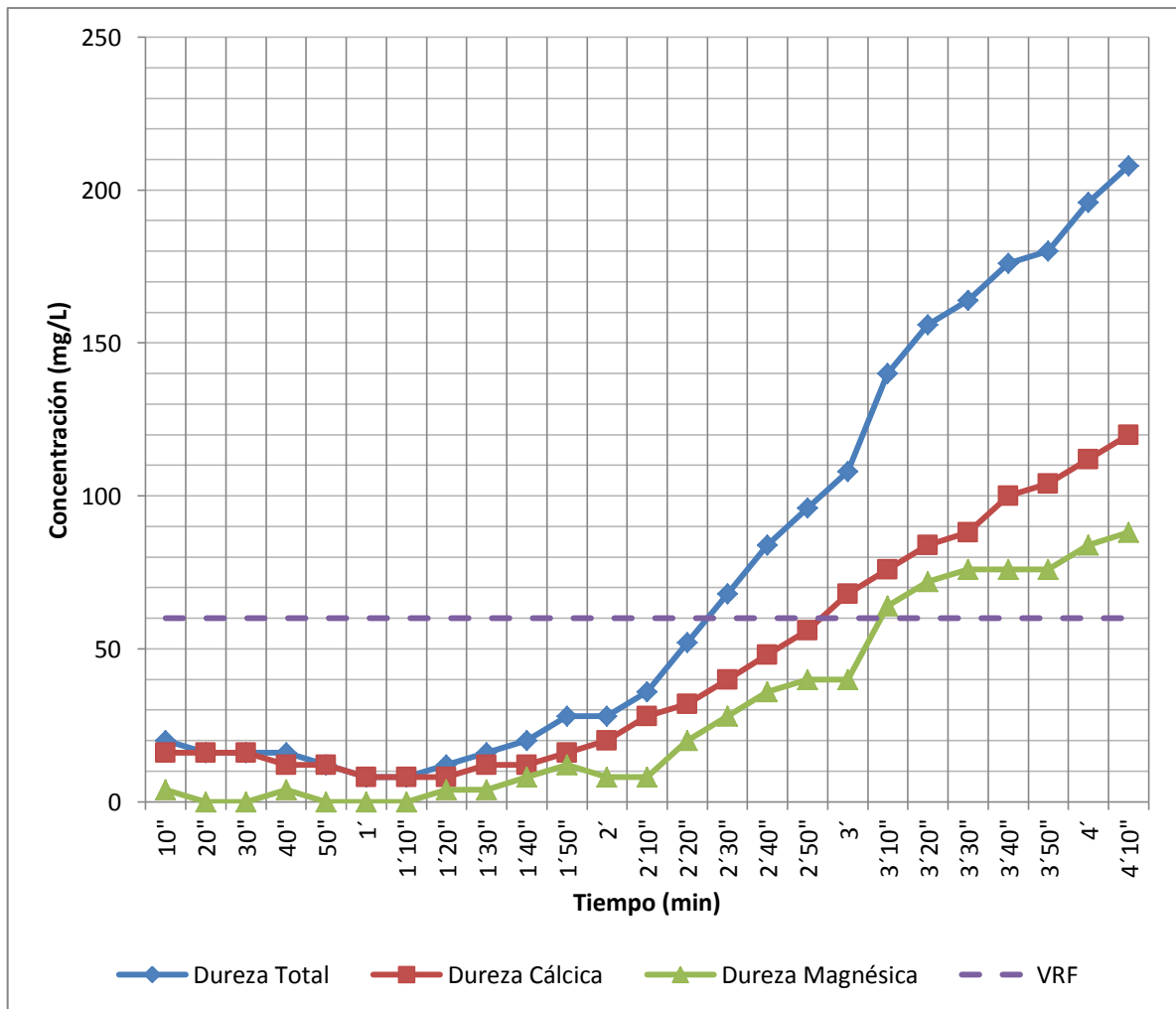


Figura 9-3 Ruptura de Dureza total, Dureza cálcica y Dureza magnésica durante el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

En la Figura 9-3 se puede identificar que el valor más cercano a la concentración de dureza total recomendada ocurre a las 2 horas 20 minutos del tratamiento por intercambio iónico con la resina Purolite C 100, donde la dureza total es de 52 mg/L, la dureza cálcica 32 mg/L y 20 mg/L para la dureza magnésica. Por lo tanto el tiempo de ruptura es de 140 min.

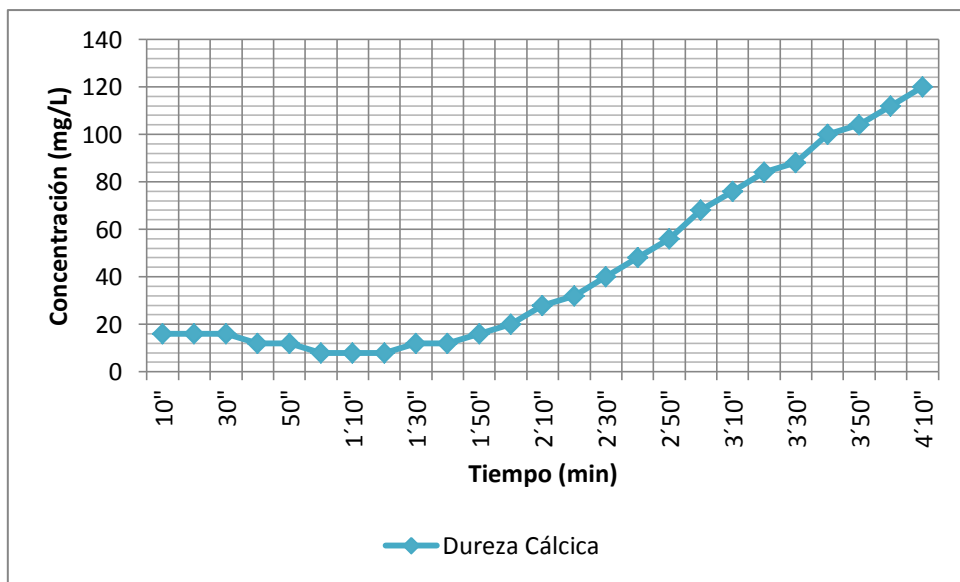


Figura 10-3 Concentración de Dureza Cálrica en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

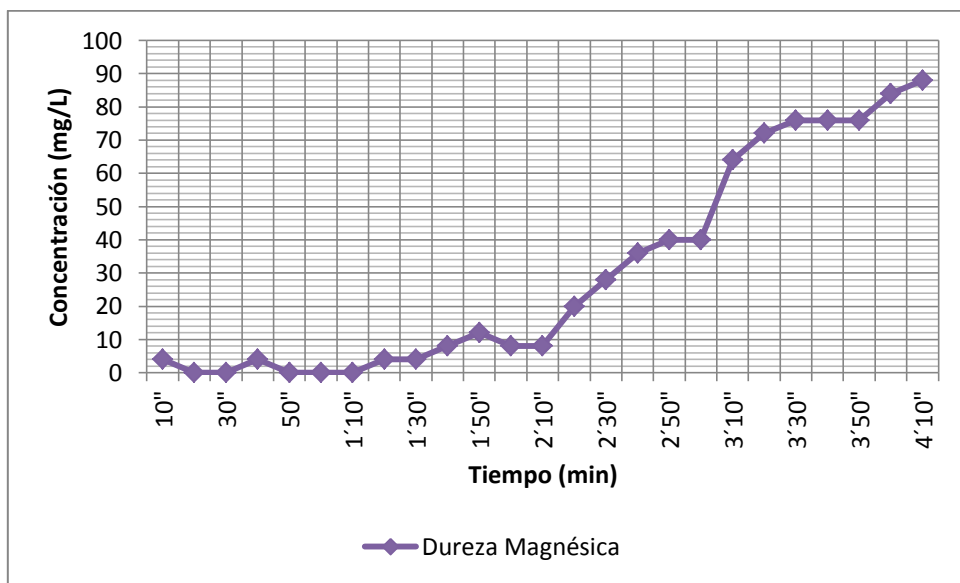


Figura 11-3 Concentración de Dureza Magnésica en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

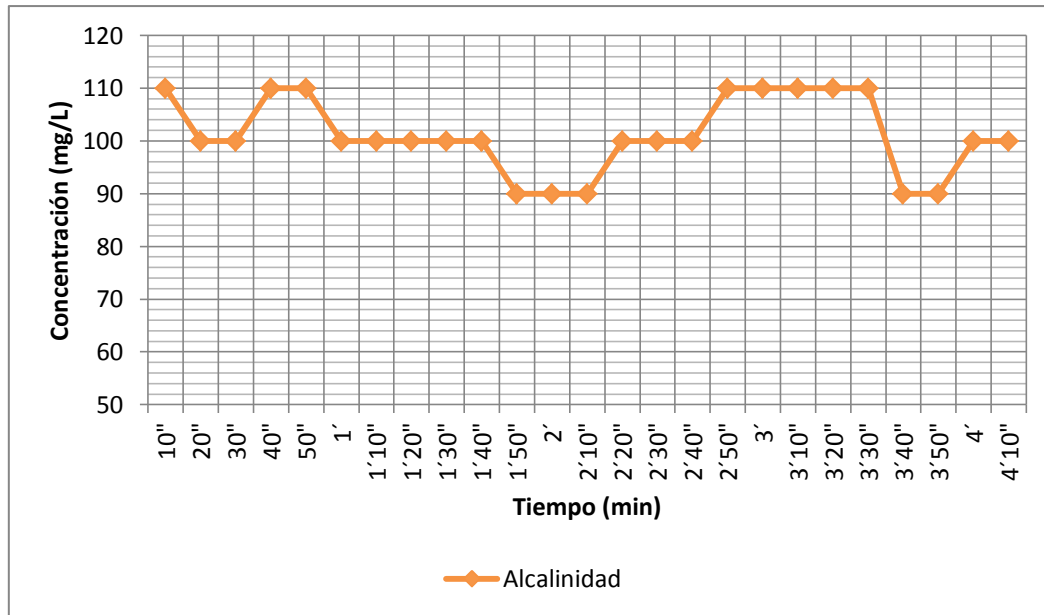


Figura 12-3 Concentración de Alcalinidad en el tratamiento de intercambio iónico con 15g de resina Purolite C 100

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

La Figura 10-3 indica la evolución de la concentración de dureza cálcica en el agua durante el proceso de intercambio iónico por medio de la resina catiónica Purolite C 100, en la gráfica se puede identificar variaciones de concentraciones a partir de la hora 2 con 30 minutos, a partir de este tiempo los datos crecen significativamente hasta llegar a un valor de 120 mg/L de concentración de dureza de calcio en la hora 4 con 10 minutos, donde se finaliza la operación.

La concentración de dureza magnésica está representada en la Figura 11-3, donde se puede ver la representación gráfica de los datos obtenidos con los análisis químicos realizados en el laboratorio. En las dos figuras antes mencionadas se observan valores constantes desde el inicio del tratamiento por intercambio iónico con resina Purolite C 100 hasta llegar a las 2 horas con 10 minutos, pasado este tiempo los valores grafican una curva creciente.

Por medio de los análisis de laboratorio se verifico que no exista una variación en la concentración de alcalinidad tan y como se muestra en la Figura 12-3, se observa que la alcalinidad del agua en el

transcurso del tratamiento tiene valores entre los 110 y 90 mg/L, lo que indica que este parámetro no interviene en el proceso de intercambio iónico.

3.4. Cálculos

Mediante el tratamiento del agua por la columna de intercambio iónico con la resina Purolite C 100 desarrollado en el laboratorio se logró establecer un conjunto de datos los cuales nos van a ser útiles para el diseño del sistema de ablandamiento en la Central.

En la Tabla 6-3 se resumen las concentraciones iniciales de Ca y Mg como CaCO₃ y MgCO₃ respectivamente; las concentraciones finales de los cationes antes mencionados se obtuvieron mediante la diferencia entre las concentraciones iniciales y los valores obtenidos en el tiempo de ruptura determinado con las pruebas de laboratorio.

Tabla 6-3 Concentraciones iniciales y finales de los cationes.

| Concentraciones | Ca (CaCO ₃) mg/L | meq/L | Mg (MgCO ₃) mg/L | meq/L |
|-----------------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| Co | 101 | 2,02 | 91 | 2,16 |
| Cf | 69 | 1,38 | 71 | 1,68 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.4.1. Volumen de resina (Vr)

$$Vr = Vf - Vo \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$Vr = (163 - 150)mL$$

$$Vr = 13 mL$$

3.4.2. *Tiempo de ruptura catiónica (Tr)*

El tiempo de ruptura es de 140 min, valor que fue identificado en la Figura 9-3.

3.4.3. *Iones Calcio y Magnesio retenidos*

Los meq/L de la Co resultan de la sumatoria de la concentración inicial de Ca y Mg detallados en la Tabla 6-3.

$$\text{meq de cationes retenidos} = Tr * Q * Co \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\text{meq de cationes retenidos} = 140 \text{ min} * 20 \frac{\text{mL}}{\text{min}} * 4.18 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}$$

$$\text{meq de cationes retenidos} = 11.696 \text{ meq}$$

3.4.4. *Capacidad de intercambio catiónico*

$$CI = \frac{\text{meq de cationes retenidos}}{Vr} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$CI = \frac{11.696 \text{ meq}}{13 \text{ mL}}$$

$$CI = 0.900 \frac{\text{meq}}{\text{mL}}$$

En la Tabla 7-3 se resumen las condiciones iniciales para el diseño del tratamiento de ablandamiento del agua por intercambio iónico, fueron determinadas mediante las pruebas de laboratorio seleccionadas con 15g de resina catiónica Purolite C 100. Se pueden observar datos

como los 11.696 meq de cationes Calcio y Magnesio retenidos por la resina durante el tratamiento hasta alcanzar los 140 min con un caudal de 20 mL/min.

En la ficha técnica de la resina catiónica Purolite C 100, la capacidad de intercambio iónico teórica es de 2 meq/mL, mientras que al realizar las pruebas la capacidad práctica calculada es de 0.9 meq/mL Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Resultados obtenidos del tratamiento por intercambio iónico en el laboratorio.

| Condiciones iniciales | Valor | Unidad |
|----------------------------------|--------------|------------------|
| Q | 20 | mL/min |
| Vr | 13 | mL |
| Tr | 140 | min |
| meq de cationes retenidos | 11.696 | meq |
| CI | 0.900 | meq/mL de resina |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.5. Diseño del sistema de ablandamiento

La Figura 13-3 representa el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de ablandamiento del agua usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco. El sistema inicia cuando el agua que se encuentra almacenada en el tanque de infiltraciones es succionada por tres bombas dispuestas en paralelo, el agua es conducida hasta un sistema de filtración de sedimentos, mediante el cual se garantiza la detención de partículas en suspensión presentes en el agua. El sistema de filtración dispone de dos filtros, los cuales trabajan alternando su funcionamiento y su proceso de regeneración.

Después del proceso de filtración el agua pasa a los dos ablandadores, los mismos que funcionan en paralelo con el fin de aprovechar al máximo la cantidad de resina, por lo tanto el caudal total se divide para dos, de esta manera se asegura la disminución de la dureza del agua por medio del intercambio iónico con la resina catiónica Purolite C 100 contenida en los ablandadores, la cual retiene los iones calcio y magnesio, optimizando la calidad del agua y asegurando que ingrese con los valores de dureza recomendados por el fabricante, al sistema de enfriamiento de sellos.

Como las pruebas lo demostraron la resina tiene un tiempo de saturación y para que vuelva a cumplir con su objetivo de intercambio catiónico es necesario un proceso de regeneración, para la recuperación de la capacidad de intercambio de la resina es necesario un lavado a contra corriente con una solución al 10 % de cloruro de sodio NaCl, esta solución es almacenada en el tanque de salmuera. Cada ablandador debe pasar por este proceso, mientras un ablandador está en recuperación el otro asume todo el caudal para asegurar el abastecimiento de agua a los sellos. Para el proceso mencionado se ha pronosticado una duración de dos horas. Finalmente el agua tratada es conducida a los sellos de cada unidad generadora.

En el transcurso del tratamiento del agua es necesaria la verificación de la presión, por ello se han colocado manómetros a lo largo del sistema, así como también un conjunto de válvulas para el control del flujo de agua.

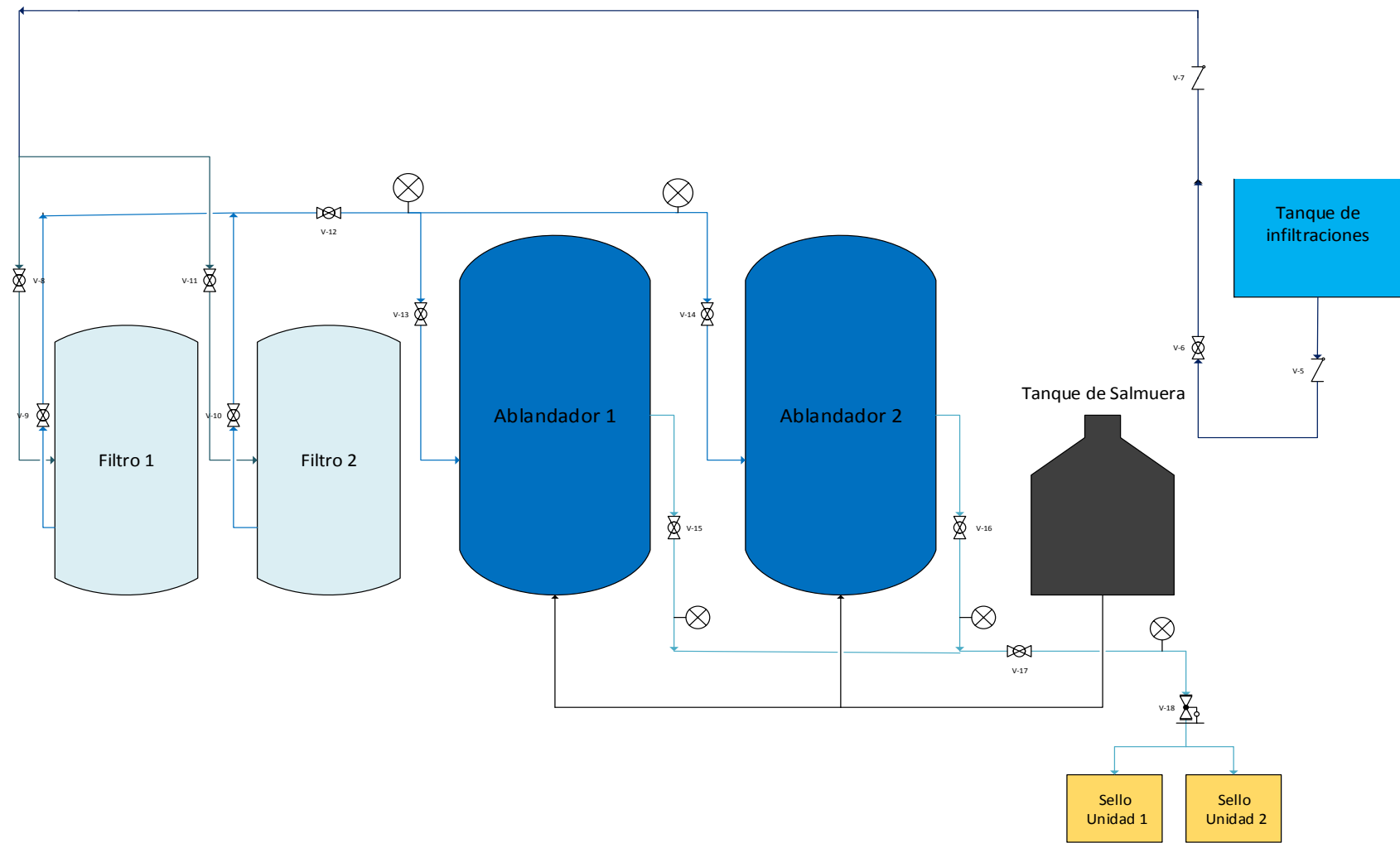


Figura 13-3 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de ablandamiento del agua de sellos de la Central San Francisco
 Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.5.1. *Iones calcio y magnesio a reducir por ciclo*

El cálculo de los cationes responsables de la dureza a reducir involucra el caudal por ciclo de agua a tratar, para lo cual se ha tomado en consideración el máximo caudal de ingreso al ablandador que es 8,4 m³/h y la sumatoria de las concentraciones finales de calcio y magnesio determinadas con las pruebas de laboratorio de la Tabla 6-3

$$\text{meq de cationes a reducir} = Qt * \sum Cf \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$\text{meq de cationes a reducir} = 8,400 \frac{L}{h} * 3.06 \frac{\text{meq}}{L} * 22 \frac{h}{\text{ciclo}}$$

$$\text{meq de cationes a reducir} = 566036 \frac{\text{meq}}{\text{ciclo}}$$

3.5.2. *Volumen de la resina catiónica (Vrc)*

Una vez conocida la concentración de iones calcio y magnesio a reducir por el sistema de intercambio iónico y la capacidad de intercambio iónico Tabla 7-3, es necesario calcular el volumen de resina que se requiere para dicha reducción.

$$Vrc = \frac{\text{meq de cationes a reducir}}{CI} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$Vrc = \frac{566036 \text{ meq}}{0.900 \frac{\text{meq}}{\text{mL resina}}} * \frac{1L}{1000 \text{ mL}} * \frac{1m^3}{1000 L} * \frac{1ft^3}{0.3048^3 m^3}$$

$$Vrc = 22.219 \text{ ft}^3$$

3.5.3. *Volumen de la columna (Vc)*

El valor de 0.75 es en consideración a lo 25% del espacio libre de la columna que se considera para la expansión de la resina al entrar en contacto con el agua.

$$Vc = \frac{Vrc}{0.75} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$Vc = \frac{0.63m^3}{0.75}$$

$$Vc = 0.839m^3$$

3.5.4. *Área de la columna*

Los 0.8m de diámetro, ha sido asumido en función de la disponibilidad del espacio en donde se pretende realizar el montaje del sistema de ablandamiento en la Central San Francisco.

$$Ac = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$Ac = \frac{\pi}{4} * (0.8m)^2$$

$$Ac = 0.503 m^2$$

3.5.5. *Altura de la columna*

$$Hc = \frac{Vc}{Ac} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$Hc = \frac{0.839m^3}{0.503 m^2}$$

$$Hc = 1.669 m$$

Tabla 8-3 Datos para el diseño del sistema de ablandamiento del agua de sellos en la Central San Francisco

| Datos diseño | Valor | Unidad |
|-------------------------|--------|-----------------|
| Qt | 8400 | L/h |
| Ciclo | 22 | h |
| Iones Ca y Mg a reducir | 566036 | meq/ciclo |
| Vrc | 22.219 | ft ³ |
| Vc | 0.839 | m ³ |
| Ac | 0.503 | m ² |
| Hc | 1.669 | m |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

Los datos para el diseño de los ablandadores para el tratamiento del agua de sellos de la Central San Francisco se resumen en la Tabla 8-3 en donde se considera el caudal del agua que abastece al sistema de enfriamiento de sellos, se puede apreciar 566036 la cantidad de iones calcio y magnesio que son reducidos por la resina en el ciclo de operación de los ablandadores.

Para el diseño de sistema de ablandamiento del agua del volumen total de resina a emplearse en el sistema es de 22.219 ft³ y la altura de la columna es de 1.669 m.

3.6. Cálculo de pérdidas en las tuberías

En la Tabla 9-3 se muestran los datos necesarios para el cálculo de las pérdidas en las tuberías. Los datos de densidad, peso específico y viscosidad dinámica del agua se las determinan de acuerdo a las propiedades del agua a distintas temperaturas, la temperatura de agua de sellos es de 22 °C, por lo que se seleccionan los valores a 25°C. El valor de 5.7 bar de presión de ingreso al sistema de ablandamiento, ha sido determinado en informes pertenecientes a la empresa.

La tubería recomendada para la implementación del sistema de ablandamiento es, de Acero Inoxidable AISI 304, SCH 40 de 2”, el diámetro interno de la tubería se lo obtiene en las tablas de dimensiones de tubos del acero inoxidable calibre 40.

La longitud ha sido estimada de acuerdo al espacio disponible para la implementación del sistema de ablandamiento del agua en la Central San Francisco.

Tabla 9-3 Datos para el cálculo de pérdidas en las tuberías.

| Datos | Valor | Unidad |
|--------------|--------------|-------------------|
| Q | 8.4 | m ³ /h |
| P | 5.7 | bar |
| L | 16.5 | m |
| D | 2 | “ |
| ε | 0.000046 | m |
| μ | 0.000891 | Pa.s |
| ρ | 997 | Kg/m ³ |
| γ | 9780 | N/ m ³ |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.6.1. Pérdidas Primarias (hf)

- **Velocidad**

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$V = \frac{8.4 \frac{m^3}{h}}{\frac{\pi}{4} * (0.053m)^2} * \frac{1h}{3600 s}$$

$$V = 1.08 \frac{m}{s}$$

- **Rugosidad relativa**

$$Rr = \frac{\varepsilon}{\phi i} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$Rr = \frac{0.000046m}{0.053 m}$$

$$Rr = 8.68 \times 10^{-4}$$

- **Número de Reynolds**

$$NRe = \frac{V * \rho * \phi i}{\mu} \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$NRe = \frac{1.08 \frac{m}{s} * 997 \frac{Kg}{m^3} * 0.053 m}{0.000891 Pa.s}$$

$$NRe = 6.4 \times 10^{-4}$$

Para la obtención del coeficiente de pérdida por fricción se emplea el Diagrama de Moody y los valores obtenidos de rugosidad relativa y número de Reynolds.

$$hf = \frac{\lambda * L * V^2}{\phi i * 2g} \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$hf = \frac{0.023 * 16.5\text{m} * \left(1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.053 \text{ m} * 2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hf = 0.43 \text{ m}$$

3.6.2. *Pérdidas Secundarias (hm)*

Las pérdidas secundarias son las que generan los accesorios que están en contacto con el flujo de agua. Para cada tipo de accesorio existe un valor constante determinado, para obtener el valor total se identificó la cantidad y tipo de accesorios, como se describe en la Tabla 10-3.

Además se tomó en cuenta la entrada del flujo al sistema donde también existe pérdida, para la obtención de la constante global se realiza la sumatoria de todas las constantes multiplicadas por la cantidad de accesorios.

Tabla 10-3 Listado de accesorios para el sistema de ablandamiento

| Cantidad | Accesorios | K individual | K |
|----------|------------------|--------------|-------|
| 1 | Entrada | 0,5 | 0,5 |
| 26 | Codos 90° | 0,9 | 23,4 |
| 8 | Tee | 1,8 | 14,4 |
| 10 | Válvula esférica | 10 | 100 |
| 2 | Válvula check | 2 | 4 |
| | Kt= | | 142,3 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

$$hm = \frac{Kt * V^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$hm = \frac{142.3 * \left(1.08 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$hm = 8.47m$$

3.6.3. Pérdida Total (ht)

$$ht = hf + hm \quad \text{Ec. 2.15}$$

$$ht = 0.43m + 8.47m$$

$$ht = 8.90m$$

Para que el agua cumpla con su función de presurizar, debe ser suministrada a una mayor presión que la que hay en la cámara interior de los sellos.

Se determinó la presión del flujo de agua a la salida del sistema de ablandamiento con la Ecuación 2.16. La cual nos permite conocer el valor de la presión y que la misma cumpla con determinadas condiciones de presión al ingreso a los sellos.

$$P2 = \left(\frac{P1}{\gamma} - ht \right) * \gamma \quad \text{Ec. 2.16}$$

$$P2 = \left(\frac{570000 \text{ Pa}}{9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} - 8.90 \text{ m} \right) * 9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$P2 = 482958 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ bar}}{100000 \text{ Pa}}$$

$$P2 = 4.83 \text{ bar}$$

3.7. Selección de equipos

Se procedió a la cotización en el mercado de equipos que cumplan con las especificaciones y condiciones establecidas y determinadas en los numerales anteriores.

- **Filtros**

Filtro de alto rendimiento comercial (CSM™)

Marca: Culligan

Modelo: CSM

Serie: 242D



Figura 14-3 Filtros The Culligan Side Mount (CSM™) Series. Heavy-duty water filter System

Fuente: Culligan Matrix Solutions

Los filtros se han seleccionado de acuerdo a los 8.4 m³/h, caudal que ingresa al tratamiento por filtrado, el flujo máximo de servicio de este equipo es de 10.9 m³/h, lo que garantiza el abastecimiento de agua en el proceso. La presión con la que es suministrada en agua al sistema es de 570 kPa, es por ello que también se han tomado en cuenta las especificaciones técnicas del equipo donde se establece un rango de presión de 207–690 kPa.

- **Ablandadores**

Ablandador (CSM™)

Marca: Culligan

Modelo: CSM

Serie: 600-2



Figura 15-3 Ablandadores The Culligan Side Mount (CSM™) Series. Water Softener System

Fuente: Culligan Matrix Solutions

Para la selección de los ablandadores se debe tomar en cuenta el volumen de la resina, en este caso el volumen calculado fue de 22 ft^3 y el equipo seleccionado tiene la capacidad para 20 ft^3 . Si bien los ablandadores trabajan en paralelo, se tomó en cuenta el caudal máximo a tratar por cada uno que es de $8.4 \text{ m}^3/\text{h}$. el flujo de trabajo del equipo es de $21.3 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.8. Costos de implementación.

Tabla 41-3 Costeo de la implementación del sistema de ablandamiento.

| Cantidad | Descripción | Precio Unidad | Precio total |
|-----------------|--|----------------------|----------------------|
| 2 | Filtro de alto rendimiento comercial (CSM™) 242D | \$ 19.519,16 | \$ 39.038,32 |
| 1 | Culligan GBE Standard Communication Cable. --2165 | \$ 120,26 | \$ 120,26 |
| 2 | 2" NPT Stainless Steel Flow Meter Assembly --7948 | \$ 1.248,61 | \$ 2.497,22 |
| 2 | Ablandador (CSM™) 600-2 | \$ 18.552,25 | \$ 37.104,50 |
| 1 | Brine System with 30"x50" Tank, 3/4" Valve and 1400 lb Salt Capacity--2509 | \$ 1.659,96 | \$ 1.659,96 |
| 1 | Culligan GBE Standard Communication Cable. --2165 | \$ 120,26 | \$ 120,26 |
| 2 | 2" NPT Stainless Steel Flow Meter Assembly --7948 | \$ 1.248,61 | \$ 2.497,22 |
| 1 | Brida INOX AISI 304, SCH40 (2") | \$ 312,40 | \$ 312,40 |
| 1 | Reducción INOX AISI 304 , SCH 40 (2" x 1 1/2") | \$ 191,30 | \$ 191,30 |
| 26 | Codo INOX AISI 304, SCH 40 (90° X 2") | \$ 100,60 | \$ 2.615,60 |
| 8 | Tee INOX AISI 304, SCH 40 (2") | \$ 101,10 | \$ 808,80 |
| 10 | Válvula Esférica INOX AISI 304, SCH 40 (2") | \$ 329,36 | \$ 3.293,60 |
| 20 | Tubo INOX AISI 304, SCH 40 (2"x 6m) | \$ 456,34 | \$ 9.126,80 |
| 2 | Válvula Check INOX AISI 304, SCH 40 (2") | \$ 481,70 | \$ 963,40 |
| 50 | Pegadas de suelda para INOX AISI 304 (2") | \$ 109,80 | \$ 5.490,00 |
| 30 | Abrazaderas tipo "U" para tubería INOX AISI 304 (2") | \$ 66,74 | \$ 2.002,20 |
| | MATERIAL ELÉCTRICO | \$ 15.000,00 | \$ 15.000,00 |
| | OBRA CIVIL | \$ 8.000,00 | \$ 8.000,00 |
| | TRANSPORTE | \$ 10.000,00 | \$ 10.000,00 |
| | MANO DE OBRA | \$ 27.000,00 | \$ 27.000,00 |
| | SUBTOTAL | | \$ 167.841,84 |
| | IVA (12%) | | \$ 20.141,02 |
| | TOTAL | | \$ 187.982,86 |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

En la Tabla 12-3 se detallan las concentraciones iniciales del agua de sellos, las concentraciones finales, obtenidas después del tratamiento de ablandamiento por intercambio iónico con la resina Purolite C 100; y los valores máximos recomendados por el fabricante. Como se puede apreciar los 192 mg/L CaCO₃, valor inicial de dureza total no cumple con los 60 mg/L CaCO₃ recomendados para el sistema de enfriamiento, mientras que después del tratamiento del agua tenemos un valor de 52 mg/L CaCO₃.

La dureza cálcica y magnésica recomendadas, son equivalentes a 37 y 23 mg/L CaCO₃ respectivamente, condiciones que se cumple en el efluente de agua tratada por intercambio iónico.

Demostrando así la eficiencia del sistema de ablandamiento por intercambio iónico con la resina catiónica Purolite C 100.

Tabla 52-3 Comparación condiciones iniciales y finales

| Parámetro | Unidad | Valor recomendado | Cumplimiento | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|----|---------------------|----|
| | | | Condiciones iniciales | | Condiciones finales | |
| Dureza Total | mg/ L CaCO ₃ | 60 | 192 | NO | 52 | SI |
| Dureza Cálcica | mg/ L CaCO ₃ | 37 | 101 | NO | 32 | SI |
| Dureza Magnésica | mg/ L CaCO ₃ | 23 | 91 | NO | 20 | SI |

Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

3.9. Evaluación de Impactos Matriz de Leopold

La evaluación de los impactos ambientales que se podrían generar con la implementación del sistema de ablandamiento por intercambio iónico con la resina Purolite C 100 propuesto, se realizó mediante la Matriz de Leopold, Figura 16-3, se han tomado en cuenta todas las acciones y actividades que involucra la implementación, la operación y funcionamiento, el cierre y abandono del sistema, así como también los factores ambientales donde existe la probabilidad de generar un impacto.

Al ser un área ya intervenida el impacto negativo de la implementación y construcción del sistema es bajo, también se ha tomado en consideración que al ser un área confinada, las actividades

iniciales van a causar molestias temporales por la utilización del espacio, pero estas cesan al terminar la fase de montaje de equipos.

Como se puede observar en la matriz uno de los factores ambientales negativamente afectado es el ruido, que en comparación con el generado en toda la central es mínimo por ello los valores son bajos, en la empresa existen planes de seguridad que contemplan este factor y su afección al personal. Otro factor afectado es la calidad del agua debido a la descarga del efluente generado en los procesos de regeneración, del filtro y los ablandadores que constituyen al sistema integral de tratamiento de agua.

La acción que genera una mayor cantidad de impactos negativos es la regeneración de la resina, debido a la utilización de agua con altos contenidos de cloruro de sodio NaCl durante este proceso, por lo que se recomienda la recirculación de la salmuera y un tratamiento previo la descarga.

Los impactos positivos identificados radican en la generación de fuentes de empleo en las actividades de implementación y construcción del sistema, como también en la fase de cierre y abandono. Otro aspecto positivo es la mejora de la calidad del agua para uso industrial, haciéndola apta para su aplicación en el sistema de enfriamiento de sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco.

| MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA DE SELLOS EN LA CENTRAN SAN FRANCISCO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|
| ACCIONES FACTORES AMBIENTALES | | | IMPLEMENTACIÓN | | | | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA | | | | | CIERRE Y ABANDONO | | EVALUACIÓN | | | | |
| | | | Planeación | Construcción loza | Transporte de equipos y material | Montaje e instalación del sistema de ablandamiento | Filtrado del agua | Ablandamiento del agua | Regeneración de los filtros | Regeneración de los ablandadores | Mantenimiento | Desmontaje de equipos | Rehabilitación | PROMEDIOS POSITIVOS | PROMEDIOS NEGATIVOS | PROMEDIO ARITMÉTICO | | |
| Características físicas y químicas | TIERRA | Suelos | .-1 1 | .-1 5 | | | | | | | | | | .-2 7 | 1 | 2 | 8 | |
| | AGUA | Continental | | | | | | | .+1 5 | .-7 9 | .-4 5 | | | | 1 | 2 | -78 | |
| | | Calidad | | | | | .+1 5 | .+1 9 | .-3 4 | .-8 5 | .-2 7 | | | .-2 8 | 3 | 3 | -36 | |
| | PROCESOS | Erosión | | | | | | | | | | | | | | 1 | -15 | |
| ATMÓFERA | Ruido | | .-2 2 | .-1 3 | .-3 4 | .-1 3 | .-1 3 | .-1 1 | .-1 2 | .-1 3 | .-2 3 | | | | 9 | -37 | | |
| Condiciones Biológicas | FLORA | Cosechas | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | -1 | |
| | | Plantas acuáticas | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | |
| | FUANA | Microfauna | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 0 | |
| Factores Culturales | INTERÉS ESTÉTICO Y HUMANO | Vistas escénicas | .-2 3 | .-3 4 | .-1 3 | .-1 4 | | | | | | | | | | 6 | -28 | |
| | | Calidad de espacio abierto | | .-1 1 | | .-3 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | -1 |
| | | Empleo | .+7 4 | .+5 6 | .+2 3 | .+8 7 | | | | | | | | | | 7 | | 188 |
| RELACIONES ECOLÓGICAS | | Salinización de aguas | | | | | | | | | | | | | | 1 | -10 | |
| | | Cadenas alimentarias | | | | | | | | | | | | | | 2 | -4 | |
| | | Salinización de suelos | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | -4 |
| EVALUACIÓN | PROMEDIO POSITIVOS | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 8 | 17 | | | | |
| | PROMEDIO NEGATIVOS | | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 10 | 6 | 2 | | | 34 | | | |
| | PROMEDIO ARITMÉTICO | | 21 | 8 | 0 | 34 | 2 | 6 | -10 | -144 | 1 | 12 | 53 | | | | | -17 |

Figura 16-3 Matriz de Leopold para la implementación del Sistema de ablandamiento para el agua de sellos de la Central San Francisco. Realizado por: Valeria Reinoso, 2016

CONCLUSIONES

- Mediante los análisis de la caracterización fisicoquímica inicial realizada al agua de infiltraciones, usada en el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco UNHAG CELEC-EP, se logró verificar que contiene elevadas concentraciones de dureza total, teniendo como resultado un valor de 192 mg/L de CaCO₃, el cual se encuentra triplicando el máximo valor recomendado por el fabricante de los equipos que es de 60 mg/L de CaCO₃, lo que hace que la calidad del agua actualmente utilizada sea inadecuada para la aplicación industrial requerida.
- El método para optimizar la calidad del agua de sellos mediante el ablandamiento por intercambio iónico con la resina catiónica Purolite C 100 en columna, logró disminuir en hasta un 70% los valores de dureza total inicial del agua. Teniendo a las 2 horas con 20 minutos como resultado promedio, una reducción de la concentración de dureza total a un valor de 52 mg/L de CaCO₃, colocándolo por debajo de la concentración máxima recomendada. Haciéndola una alternativa viable para emplearla a nivel industrial en la Central San Francisco y de esta manera abastecer al sistema agua exenta de impurezas.
- Las pruebas de laboratorio realizadas, empleando 15g de resina catiónica Purolite C 100, nos permitieron determinar la capacidad de intercambio iónico que posee la resina, obteniendo un valor de 0.9 meq/mL de resina; por medio del cual se pudo determinar 20 ft³ como volumen total de resina para tratar el caudal de 8.4 m³/h durante las 22 horas de funcionamiento del ablandador.
- Se propone un pretratamiento de filtrado para asegurar la retención de partículas presentes en el agua, con el fin de impedir la disposición y taponamiento en el sistema y la instalación de dos ablandadores que funcionen en paralelo para el máximo aprovechamiento del volumen de resina catiónica Purolite C 100.
- Los equipos seleccionados para realizar el tratamiento integral al agua del sistema de enfriamiento de sellos en la Central San Francisco, fueron elegidos por el cumplimiento a las especificaciones técnicas, caudal máximo a tratar y a los resultados arrojados por las pruebas de laboratorio desarrolladas con la resina catiónica Purolite C 100 como intercambiador iónico.

RECOMENDACIONES

- Al ser un ablandador de lecho catiónico se recomienda realizar la regeneración de la resina Purolite C 100 con el flujo de salmuera a contra corriente, para la optimización de tiempo y solución salina empleados en el proceso.
- Investigar sobre la posible reutilización del agua de regeneración de la resina catiónica Purolite C 100 en el sistema, para ello analizar la caracterización físico química del agua. Establecer que posibles tratamientos se le puede dar para su descarga a un cuerpo hídrico.
- Determinar tiempos de mantenimiento periódicos para el sistema, asegurando así el funcionamiento en óptimas condiciones y aprovechando al máximo la vida útil de los equipos y de la resina catiónica Purolite C 100.

BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WPCF. *Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales*. [en línea]. 17a. ed. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A, 1992. [Consulta: 28 Noviembre 2015].

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/34123421/Metodos-Normalizados-Analisis-Agua>

AVILLA, J.A. “Lo esencial Acerca del Intercambio Iónico”. *Agua Latinoamérica*, vol. 2, n°3, 2002, Washington, Estados Unidos de América. [Consulta: 21 Febrero 2016].

Disponible en: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/5-6-02avilla.pdf>

BAIRD, Colin; & CANN, Michael. *Química Ambiental*. [en línea]. 2a. ed. Barcelona, España: Reverté S.A, 2001. [Consulta: 07 Enero 2016].

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/231381951/Quimica-Ambiental-Colin#scribd>

BATTENBERG, G. “Intercambio Catiónico, Parte 1: Volviendo a lo Esencial”. *Agua Latinoamérica*, vol. 16, n°2, 2016, Washington, Estados Unidos de América. [Consulta: 21 Febrero 2016].

Disponible en: http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/V16_N02_Battenberg.pdf

BROWN, Glenn; & SALLEE, Eugene. *Química cuantitativa*. Barcelona, España: Reverté S.A, 1977, pp. 543.

CERVANTES ANANGONÓ, Luis Alfredo. *Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica*. (Tesis de Pregrado). Universidad Salesiana, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2015, pp. 13 [Consulta: 11 Febrero 2016].

Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9122>

CONESA, V. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 4a. ed. Barcelona, España: Mundiprensa, 2009, pp. 60-61

DARDEL, François. *Métodos de regeneración de una columna de intercambio iónico* [blog]. 14 Enero 2016. [Consulta: 02 Febrero 2016].

Disponible en: http://dardel.info/IX/processes/regeneration_ES.html

DE LA LLATA, M. D. *Ecología y Medio Ambiente* [en línea]. México DF, México: Progreso, S.A, 2003. [Consulta: 15 Noviembre 2015].

Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=KnORBYSrdDMC&pg=PA160&dq=CLASIFICACION++DE+impurezas+del+agua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiex_CF-5bLAhXFdh4KHcYjD8EQ6AEIGzAA#v=onepage&q=CLASIFICACION%20%20DE%20impurezas%20del%20agua&f=false

FORSYTHE, W. *Manual de Laboratorio: Física de Suelos*. San José, Costa Rica: IICA, 1980, pp.157

GÓMEZ, Domingo; & GÓMEZ, Ma. Teresa. *Evaluación de Impacto ambiental*. 3a. ed. Barcelona, España: Mundiprensa, 2013, pp.195

HARVEY, D. *Química Analítica Moderna*. Madrid, España: Asher, 2002, pp. 22-29

HENRY, Glynn; & HEINKE, Gary. *Ingeniería Ambiental*. 2a. ed. México DF, México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1999, pp. 408

HIDALGO, Fanny; & GUAMÁN, Marco. *Diseño y Construcción de un desmineralizador de Lecho Múltiple*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador, 2003, pp. 50-66. [Consulta: 25 Enero 2016].

Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/746/1/976.pdf>

JIMÉNEZ, B.E. *La contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México DF, México: Limusa S.A, 2005, pp. 131.

LAITINEN, Herbert; & HARRIS, Walter. *Análisis químico: texto avanzado y de referencia*. México DF, México: Reverté, 1982, pp. 534

MANAHAN, S. E. *Introducción a la química ambiental*. México DF, México: Reverté S.A, 2007, pp. 207.

MARÍN, R. *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*, Madrid, España: Díaz de Santos, S.A, 2003, pp.175

MARTINEZ, Javier; & IDROBO, Marcelo. *Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de Ciencias – ESPOCH*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador. 2012, pp. 6-22. [Consulta: 29 Enero 2016].

Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2031>

MCCABE, Warren; et al. Julián: *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 6a. ed. México DF, México: McGraw-Hill Interamericana, 2002.

MILLER, Junior; & TYLER, G. *Ecología y Medio Ambiente*. México DF, México: Iberoamericana, 1970, pp. 67-70

NEBEL, Bernard; & WRIGHT, Richard. *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. 6a. ed. México DF, México: Prentice Hall, 1999, pp.266

ODETTI, Héctor; & BOTTANI, Eduardo. *Introducción a la Química Inorgánica*. 3a. ed. Santa Fe, Argentina: Ediciones UNL, 2006, pp. 105.

OROZCO, Carmen; et al. *Contaminación ambiental: Una Visión desde la Química*. Madrid, España: Paraninfo S.A, 2011, pp.183-184

ORTUÑO, V. A. *Introducción a la química industrial*. Barcelona, España: Reverté S.A, 2006, pp. 94-25.

PANCORBO, F. J. *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación* [en línea]. Barcelona, España: Marcombo S.A, 2011. [Consulta: 15 Noviembre 2015]. Disponible en: <http://pdfsr.com/isbn/9788426715760>

PARDO, M. *La evaluación del impacto ambiental y social para el siglo XXI: teorías, procesos y metodología*. Madrid, España: Fundamentos, 2002, pp.216

PASTO, Daniel; & JOHNSON, Carl. *Determinación de estructuras orgánicas*. Barcelona, España: Reverté S.A, 1981, pp. 53-56

PERRY, Robert; et al. James: *Manual del Ingeniero Químico*. 3a. ed. México DF, México: McGraw-Hill, 1992.

PIMIENTA, J. *La captación de aguas subterráneas*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados, S.A, 1973, pp-179

POWELL, S.T. *Manual de Aguas para Usos Industriales*. México DF, México: Ciencia y Tecnología, 1987, pp. 13-16.

PRIMO, E. *Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria*, Barcelona, España: Reverté S.A, 1996, pp. 442.

QUIMICA INTERCAMBIO IÓNICO, Barcelona: Reverté S.A, 1974, pp. 66-67.

RAMOS, Raudel; et al. Francisco: *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis* [en línea]. México DF, México: Plaza y Valdés S.A, 2003. [Consulta: 10 Diciembre 2015]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=b8lhCHPEYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

RIGOLA, M. *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo S.A, 1990, pp. 64

RODRÍGUEZ, José; & MARÍN, Rafael. *Fisicoquímica de aguas* [en línea]. Madrid, España: Díaz de Santos S.A, 1999. [Consulta: 10 Diciembre 2015]. Disponible en: <http://coleccion-de-libros.blogspot.com/2012/09/fisicoquimica-de-aguas-pdf.html>

ROMERO, J. A. *Calidad del agua*. 3a. ed. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009, pp. 13-20.

SAWYER, Clair; et al. Gene: *Química para Ingeniería Ambiental*. 4a. ed. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, 2001, pp 400-600.

SOTO, J.F. "La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias". *SciELO* [en línea], 2010, México DF, México. 11 (2). [Consulta: 10 Enero 2016]. ISSN 1405-7743.

Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200004

TOLEDO, A. *Agua, hombre y paisaje* [en línea]. México DF, México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2006. [Consulta: 15 Noviembre 2015]. Disponible en: <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000042047>

TOLEDO, A. "Hacia una nueva visión de las relaciones entre el agua, el hombre y el paisaje" *Gaceta Ecológica* [en línea], 2006, [Consulta: 15 Febrero 2016]. ISSN 1405-2849. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907801>

WALTON, Harold; & REYES, Jorge. *Análisis químico e instrumental moderno*. Barcelona, España: Reverté S.A, 2005, pp. 297.

WATER PROJECTS, S.A. *Diseño del sistema de tratamiento de agua para el sello del eje de las turbinas de la Central San Francisco*, Quito, Ecuador, 2015, pp. 8, 40.

WEBER, W. J. *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos*. Barcelona, España: Reverté S.A, 1979, pp. 64-66.

ANEXOS

Anexo A. Resultados Caracterización fisicoquímica

LABOLAB

ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES
INFORME DE RESULTADOS

Orden de trabajo # 150143
Hoja 1 de 1

NOMBRE: Water Projects S.A.
DIRECCIÓN: Pasaje N54 N14 – 135 Pasaje E 14 C
MUESTRA: Agua de vertiente
CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA: Líquido incoloro
ANÁLISIS: Físico químico
FECHA DE RECEPCIÓN: 20 de enero del 2015
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 20 de enero del 2015
LOCALIZACIÓN: Túnel Hidroeléctrica - San Francisco - Río Negro - Baños
ENVASE: PET
REFERENCIA: 150143
FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYO: 20 – 22 de enero del 2015
MUESTREADO POR: El Cliente
CONDICIONES AMBIENTALES: 24°C 31% HR

| ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO | RESULTADO | Unidad | METODO | Límites |
|--|-----------|--------|----------------------------|------------|
| pH (20°C) | 6.63 | | PHA 4500 H- B | 6 - 9 |
| COLOR: | 0 | UTC | Visual | hasta 5 |
| TURBIEDAD: | 0 | NTU | Nefelométrico | hasta 3 |
| CONDUCTIVIDAD (Micromhos): | 441 | | PHA 2510 | hasta 500 |
| CARBONATOS: | 0.00 | mg/l | olumétrico | hasta 120 |
| BICARBONATOS: | 143.51 | mg/l | olumétrico | hasta 250 |
| CLORUROS: | 18.33 | mg/l | PHA 4500-Cl B | hasta 350 |
| MANGANESO: | 0.00 | mg/l | PHA 3500- Mn B | hasta 0.4 |
| HIERRO TOTAL: | 0.17 | mg/l | HA 3500-Fe B | hasta 0.3 |
| MAGNESIO: | 6.26 | mg/l | PHA 3500-Mg B | hasta 150 |
| CALCIO: | 44.44 | mg/l | PHA 3500-Ca B | hasta 200 |
| NITRATOS: | 0.23 | mg/l | PHA 4500-NO ₃ D | hasta 50 |
| NITRITOS: | 0.01 | mg/l | PHA 4500 NO ₂ B | hasta 1 |
| SULFATOS: | 15.62 | mg/l | HA 4500-SO ₄ E | hasta 400 |
| FOSFATOS: | 0.20 | mg/l | PHA 4500-P C | hasta 0.3 |
| SODIO: | 33 | mg/l | lectrodo selectivo | hasta 115 |
| POTASIO: | 4 | mg/l | lectrodo selectivo | hasta 300 |
| ALCALINIDAD: | 143.51 | mg/l | PHA 2320B | hasta 250 |
| DUREZA TOTAL (Como CaCO ₃): | 136.62 | mg/l | PHA 2340C | hasta 300 |
| DUREZA CARBONATADA (Como CaCO ₃): | 136.62 | mg/l | álculo | |
| DUREZA NO CARBONATADA (Como CaCO ₃): | 0.00 | mg/l | álculo | |
| SOLIDOS TOTALES (a 105°C): | 276 | mg/l | PHA 2540B | hasta 1500 |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (a 105°C): | 225 | mg/l | PHA 2540C | hasta 500 |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS (a 105 °C): | 51 | mg/l | PHA 2540D | |
| INDICE DE LANGELIER (a 25 °C): | - 1.20 | | álculo | - 0.50 |


Dr. Oscar Luzuriaga
PRESIDENTE

El presente informe solo es válido para la muestra analizada.

Este informe de laboratorio es válido cuando se ha realizado previa autorización emitida por LABOLAB.

INFORME TÉCNICO, FICHA DE ESTABILIDAD, INFORMACIÓN NUTRICIONAL PARA REGISTRO SANITARIO

Análisis físico, químico, microbiológico, entomológico de: alimentos, aguas, bebidas, materias primas, salmón (11%), productos plásticos, suelos, metales pesados y otros.

Av. Pérez Guerrero De 21-11 y Versailles - Of. 12 B - 2do. Piso - Telefax: 2563-225 / 2235-404 / 3214-333 / 3214-353 Cel.: 0996090-412

e-mails: secretaria@labolab.com.ec / servicioscliente@labolab.com.ec / oscarluzuriaga@labolab.com.ec

www.labolab.com.ec

Quito - Ecuador

Anexo B. Tanque de Infiltraciones – lugar de toma de muestras



Anexo C. Reactivos químicos para el análisis de Dureza Total y Cálfica.



Anexo D. Determinación mediante titulación con EDTA para Dureza y Ácido Sulfúrico para la Alcalinidad



Anexo E. Viraje de color en la determinación de: Dureza total, Dureza cálcica y Alcalinidad



Anexo F. Columna de Intercambio Iónico



Anexo G. Ficha Técnica Resina Purolite C 100



FICHA
TÉCNICA

Purolite® C100 Resina Catiónica Fuertemente Ácida Gel

Purolite C100 es una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida, de tipo gel, y de matriz de poliestireno sulfonado. Se emplea, en forma sodio y regenerada con NaCl, para eliminar toda la dureza del agua, reemplazando todos los iones de calcio y magnesio por los equivalentes en sodio. Se emplea, en forma hidrógeno y regenerada con ácido, para eliminar todos los cationes presentes en el agua a tratar.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS:

| | |
|-----------------------|---|
| Aplicación | Ablandamiento y Desmineralización |
| Estructura Polimérica | Base de Poliestireno e Divinilbenceno, Tipo Gel |
| Apariencia | Partículas Esféricas Uniformes |
| Grupo Funcional | Ácido Sulfónico |
| Forma Iónica Original | Na ⁺ |

INFORMACIONES DEL PRODUCTO:

| | |
|--|---|
| Capacidad Total | 2,0 eq/l (en la forma Na ⁺) |
| Humedad Retida | 44 - 48 % (en la forma Na ⁺) |
| Variación del Tamaño de las Esferas | 300 – 1200 µm |
| Coefficiente de Uniformidad (max.) | 1,7 |
| Dilatación Reversible, Na ⁺ → H ⁺ (max.) | 8% |
| Densidad Relativa | 1,29 (en la forma Na ⁺) |
| Peso Específico (aproximado) | 800 - 840 g/l (49,9 - 51,4 lb/ft ³) |
| Temperatura Límite | 120°C (250°F) |

Americas
T +01 610.668.9090
F +01 484.384.2751
americas@purolite.com

Europe
T +44 1443 229334
F +44 1443 227073
europe@purolite.com

Asia Pacific
T +86 371 876 31382
F +86 371 876 31383
asiapacific@purolite.com

Anexo H. Propiedades del Agua a Distintas Temperaturas, para la determinación de pérdidas en tuberías

A.1 Unidades S.I. ($p_{abs} = 101 \text{ kPa}$)

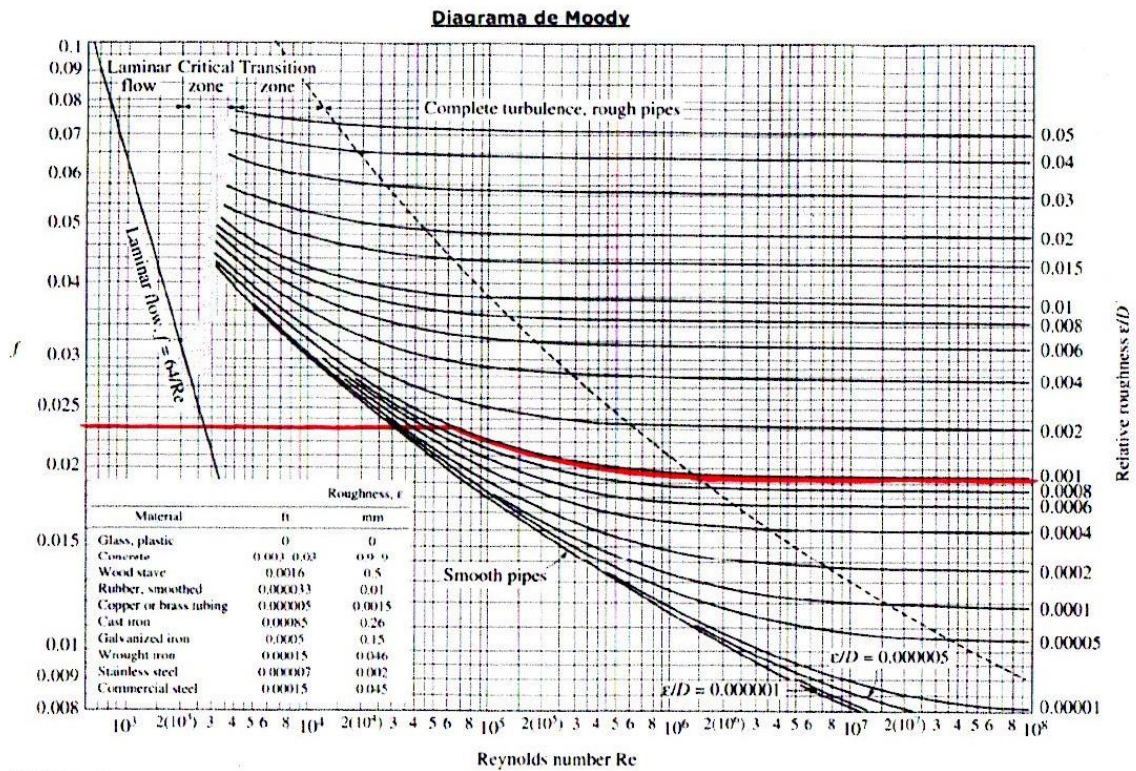
| Temperatura (°C) | Peso específico γ (kN/m ³) | Densidad ρ (kg/m ³) | Viscosidad dinámica μ (Pa·s) ó (N·s/m ²) | Viscosidad cinemática ν (m ² /s) |
|---------------------|--|--|--|--|
| 0 | 9.81 | 1000 | 1.75×10^{-3} | 1.75×10^{-6} |
| 5 | 9.81 | 1000 | 1.52×10^{-3} | 1.52×10^{-6} |
| 10 | 9.81 | 1000 | 1.30×10^{-3} | 1.30×10^{-6} |
| 15 | 9.81 | 1000 | 1.15×10^{-3} | 1.15×10^{-6} |
| 20 | 9.79 | 998 | 1.02×10^{-3} | 1.02×10^{-6} |
| 25 | 9.78 | 997 | 8.91×10^{-4} | 8.94×10^{-7} |
| 30 | 9.77 | 996 | 8.00×10^{-4} | 8.03×10^{-7} |
| 35 | 9.75 | 994 | 7.18×10^{-4} | 7.22×10^{-7} |
| 40 | 9.73 | 992 | 6.51×10^{-4} | 6.56×10^{-7} |
| 45 | 9.71 | 990 | 5.94×10^{-4} | 6.00×10^{-7} |
| 50 | 9.69 | 988 | 5.41×10^{-4} | 5.48×10^{-7} |
| 55 | 9.67 | 986 | 4.98×10^{-4} | 5.05×10^{-7} |
| 60 | 9.65 | 984 | 4.60×10^{-4} | 4.67×10^{-7} |
| 65 | 9.62 | 981 | 4.31×10^{-4} | 4.39×10^{-7} |
| 70 | 9.59 | 978 | 4.02×10^{-4} | 4.11×10^{-7} |
| 75 | 9.56 | 975 | 3.73×10^{-4} | 3.83×10^{-7} |
| 80 | 9.53 | 971 | 3.50×10^{-4} | 3.60×10^{-7} |
| 85 | 9.50 | 968 | 3.30×10^{-4} | 3.41×10^{-7} |
| 90 | 9.47 | 965 | 3.11×10^{-4} | 3.22×10^{-7} |
| 95 | 9.44 | 962 | 2.92×10^{-4} | 3.04×10^{-7} |
| 100 | 9.40 | 958 | 2.82×10^{-4} | 2.94×10^{-7} |

A.2 Sistema Británico de Unidades
($p_{abs} = 14.7 \text{ lb/pulg}^2$)

| Temperatura (°F) | Peso específico γ (lb/ft ³) | Densidad ρ (slugs/ft ³) | Viscosidad dinámica μ (lb·s/ft ²) | Viscosidad cinemática ν (ft ² /s) |
|---------------------|---|--|--|---|
| 32 | 62.4 | 1.94 | 3.66×10^{-5} | 1.89×10^{-5} |
| 40 | 62.4 | 1.94 | 3.23×10^{-5} | 1.67×10^{-5} |
| 50 | 62.4 | 1.94 | 2.72×10^{-5} | 1.40×10^{-5} |
| 60 | 62.4 | 1.94 | 2.35×10^{-5} | 1.21×10^{-5} |
| 70 | 62.3 | 1.94 | 2.04×10^{-5} | 1.05×10^{-5} |
| 80 | 62.2 | 1.93 | 1.77×10^{-5} | 9.15×10^{-6} |
| 90 | 62.1 | 1.93 | 1.60×10^{-5} | 8.29×10^{-6} |
| 100 | 62.0 | 1.93 | 1.42×10^{-5} | 7.37×10^{-6} |
| 110 | 61.9 | 1.92 | 1.26×10^{-5} | 6.55×10^{-6} |
| 120 | 61.7 | 1.92 | 1.14×10^{-5} | 5.94×10^{-6} |
| 130 | 61.5 | 1.91 | 1.05×10^{-5} | 5.49×10^{-6} |
| 140 | 61.4 | 1.91 | 9.60×10^{-6} | 5.03×10^{-6} |
| 150 | 61.2 | 1.90 | 8.90×10^{-6} | 4.68×10^{-6} |
| 160 | 61.0 | 1.90 | 8.30×10^{-6} | 4.38×10^{-6} |
| 170 | 60.8 | 1.89 | 7.70×10^{-6} | 4.07×10^{-6} |
| 180 | 60.6 | 1.88 | 7.23×10^{-6} | 3.84×10^{-6} |
| 190 | 60.4 | 1.88 | 6.80×10^{-6} | 3.62×10^{-6} |
| 200 | 60.1 | 1.87 | 6.25×10^{-6} | 3.35×10^{-6} |
| 212 | 59.8 | 1.86 | 5.89×10^{-6} | 3.17×10^{-6} |

Anexo I. Dimensiones de Tubos - Diagrama de Moody, para el cálculo de pérdidas en las tuberías

| TAMAÑO NOMINAL NPS | Diam. Ext. | | Cedula 10S A | | | | | | Cedula 40S A | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| | pg | mm | Grosor Pared | | Diámetro Int. | | Peso Aprox. | | Grosor Pared | | Diámetro Int. | | Peso Aprox. | |
| | | | pg | mm | pg | mm | Lb / pie | Kg / m | pg | mm | pg | mm | Lb / pie | Kg / m |
| 1/8 | .405 | 10.29 | .049 | 1.24 | .307 | 7.81 | .19 | .28 | .068 | 1.73 | .269 | 6.83 | .25 | .37 |
| 1/4 | .540 | 13.72 | .065 | 1.65 | .410 | 10.42 | .33 | .49 | .088 | 2.24 | .364 | 9.24 | .43 | .63 |
| 3/8 | .675 | 17.15 | .065 | 1.65 | .545 | 13.85 | .42 | .63 | .091 | 2.31 | .493 | 12.53 | .57 | .85 |
| 1/2 | .840 | 21.34 | .083 | 2.11 | 6.74 | 17.12 | .67 | 1.00 | .109 | 2.77 | .622 | 15.80 | .85 | 1.27 |
| 3/4 | 1.050 | 26.67 | .083 | 2.11 | .884 | 22.45 | .86 | 1.28 | .113 | 2.87 | .824 | 20.93 | 1.13 | 1.69 |
| 1 | 1.315 | 33.40 | .109 | 2.77 | 1.097 | 27.86 | 1.40 | 2.09 | .133 | 3.38 | 1.049 | 26.64 | 1.68 | 2.50 |
| 1 1/4 | 1.660 | 42.16 | .109 | 2.77 | 1.442 | 36.62 | 1.81 | 2.69 | .140 | 3.56 | 1.380 | 35.04 | 2.27 | 3.39 |
| 1 1/2 | 1.900 | 48.26 | .109 | 2.77 | 1.682 | 42.72 | 2.09 | 3.11 | .145 | 3.68 | 1.610 | 40.90 | 2.72 | 4.05 |
| 2 | 2.375 | 60.33 | .109 | 2.77 | 2.157 | 54.79 | 2.64 | 3.93 | .154 | 3.91 | 2.067 | 52.51 | 3.65 | 5.45 |
| 2 1/2 | 2.875 | 73.03 | .120 | 3.05 | 2.635 | 66.93 | 3.53 | 5.27 | .203 | 5.16 | 2.469 | 62.71 | 5.79 | 8.64 |
| 3 | 3.500 | 88.90 | .120 | 3.05 | 3.260 | 82.80 | 4.33 | 6.46 | .216 | 5.49 | 3.068 | 77.92 | 7.58 | 11.30 |
| 3 1/2 | 4.000 | 101.60 | .120 | 3.05 | 3.760 | 95.50 | 4.97 | 7.42 | .226 | 5.74 | 3.548 | 90.12 | 9.11 | 13.58 |
| 4 | 4.500 | 114.30 | .120 | 3.05 | 4.260 | 108.20 | 5.61 | 8.37 | .237 | 6.02 | 4.026 | 102.26 | 10.79 | 16.09 |
| 6 | 6.625 | 168.28 | .134 | 3.40 | 6.357 | 161.48 | 9.29 | 13.85 | .280 | 7.11 | 6.065 | 154.06 | 18.97 | 28.28 |
| 8 | 8.625 | 219.08 | .148 | 3.76 | 8.329 | 211.56 | 13.40 | 19.98 | .322 | 8.18 | 7.981 | 202.72 | 28.55 | 42.57 |
| 10 | 10.750 | 273.05 | .165 | 4.19 | 10.420 | 264.67 | 18.70 | 27.88 | .365 | 9.27 | 10.020 | 254.51 | 40.48 | 60.36 |
| 12 | 12.750 | 323.85 | .180 | 4.57 | 12.390 | 314.71 | 24.20 | 36.08 | .406 | 10.31 | 11.938 | 303.23 | 53.53 | 79.81 |
| 14 | 14.000 | 355.60 | .250 | 6.35 | 13.500 | 342.90 | 36.71 | 54.74 | .437 | 11.10 | 13.126 | 333.40 | 63.37 | 94.49 |
| 16 | 16.000 | 406.40 | .250 | 6.35 | 15.500 | 393.70 | 42.05 | 62.70 | .500 | 12.70 | 15.000 | 381.00 | 82.77 | 123.41 |
| 18 | 18.000 | 457.20 | .250 | 6.35 | 17.500 | 444.50 | 47.39 | 70.66 | .562 | 14.30 | 16.876 | 428.60 | 104.80 | 156.26 |
| 20 | 20.000 | 508.00 | .250 | 6.35 | 19.500 | 495.30 | 52.73 | 78.62 | .593 | 15.10 | 18.814 | 477.80 | 122.90 | 183.24 |
| 24 | 24.000 | 609.60 | .250 | 6.35 | 23.500 | 584.20 | 63.41 | 94.54 | .687 | 17.40 | 22.626 | 574.80 | 171.20 | 255.26 |
| 30 | 30.000 | 762.00 | .312 | 7.92 | 29.376 | 746.16 | 98.93 | 147.51 | | | | | | |



Anexo J. Ficha Técnica de los Filtros marca Culligan



Markets Served:

Clinics
Educational Facilities
Energy/Power
Food/Beverage Production
Food Service/Restaurants
Grocery
Healthcare/Hospitals/Bio-Pharmaceutical
Hospitality/Lodging
Manufacturing
Municipal Drinking Water
Oil/Gas

The Culligan Side Mount (CSM™) Series HEAVY-DUTY WATER FILTER SYSTEM

High-Volume Filtration for Commercial and Industrial Water Systems

When you want to produce high quality water in a demanding and variable environment, trust Culligan filters. The Culligan Side Mount (CSM) heavy-duty filter reduces contaminants* and solids that affect water quality and equipment efficiency. The Culligan-exclusive Smart Controller makes it easy for you to set up and manage your water treatment. Using optional accessories such as an automatic timer or sensors, monitor the system and filter as needed without constant supervision, saving resources and money.

The CSM heavy-duty commercial filter is part of the Culligan Matrix Solutions® that combine durable and efficient equipment, systems experience, and technical experts who understand your unique requirements. From planning your system to installing your water treatment equipment, Culligan Matrix Solutions offer options that help deliver the quality of water to meet your needs. Contact Culligan today to learn more about the CSM softener system.

CULLIGAN MATRIX SOLUTIONS ADVANTAGES:

- Simple System Integration
- Global Product Platform
- Flexible Configurations
- Quick Delivery/Easy Installation
- Exclusive Culligan Advanced Electronics
 - Historical Operating Data
 - Alarm Recognitions
 - US Standard and Metric Readings
 - Remote Monitoring Options
 - Telemetry Options

*Contaminants may not necessarily be in your water.



PRE-TREATMENT SOLUTIONS.

SYSTEM SPECIFICATIONS

Warranty

Culligan's CSM water filters are backed by a limited 3-year warranty against defects in materials, workmanship and corrosion. In addition, tanks carry a limited 5-year warranty.[†]

[†] See printed warranty for details. Culligan will provide a copy of the warranty upon request.

System Specifications

| Specification | IS | Matrix |
|--------------------------|-------------------|-------------|
| Inlet Pressure (dynamic) | 30-100 psig | 207-600 kPa |
| Power | | |
| Voltage (frequency) | 120Vols (50/60Hz) | |
| Feed Water Temperature | 40-120°F | 4-49°C |

[†] 120 Volt 24 Volt Cu/Al. Inlet transformer included.



Tanks are not NSF/ANSI 61 certified.

CSM Water Filter System

| Model | Depth Filters | | | | | |
|----------|--|--|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| | Service Flow Rates ¹ | | Backwash Flow ² (gpm/psf) | Pipe Size (inches) | Media Qty. (bu/box) | Filter Tank Size (inches) |
| | Normal (gpm @ psi drop / gpm @ kPa drop) | Peak (gpm @ psi drop / gpm @ kPa drop) | | | | |
| CSM-302D | 22 @ 6 | 33 @ 12 | 30 | 2 | 571 | 20 x 54 |
| | 83.3 @ 41.4 | 124.9 @ 13.8 | 113.6 | 50.8 | 250 | 528 x 1,372 |
| CSM-362D | 33 @ 9 | 49 @ 9 | 45 | 2 | 830 | 24 x 54 |
| | 123.1 @ 24.5 | 181.7 @ 6.2 | 159.3 | 50.8 | 316 | 619 x 1,372 |
| CSM-302D | 50 @ 9 | 74 @ 17 | 75 | 2 | 1244 | 30 x 60 |
| | 189.2 @ 6.2 | 282.1 @ 11.7 | 283.9 | 50.8 | 564 | 762 x 1,524 |
| CSM-362D | 71 @ 11 | 107 @ 23 | 105 | 2 | 1745 | 36 x 60 |
| | 252.7 @ 6.9 | 405 @ 15.9 | 397.4 | 50.8 | 801 | 914 x 1,524 |
| CSM-422D | 97 @ 15 | 145 @ 28 | 150 | 2 | 2488 | 42 x 60 |
| | 367.1 @ 103.4 | 548.8 @ 19.3 | 567.8 | 50.8 | 1129 | 1,067 x 1,524 |
| CSM-422D | 97 @ 6 | 145 @ 11 | 150 | 3 | 2488 | 42 x 60 |
| | 367.1 @ 41.4 | 548.8 @ 7.6 | 567.8 | 76.2 | 1129 | 1,067 x 1,524 |

¹ Service flow rates are based on:

Normal (10 gpm/ft² - 24 m³/hr/ft²) - Best quality effluent at specified flow. Lowest pressure loss. Recommended for suspended solids loads up to and greater than 300 ppm.

Peak (15 gpm/ft² - 37 m³/hr/ft²) - Very good quality effluent at specified flow. Increased pressure loss. Recommended for suspended solids loads < 300 ppm.

² Backwash flow rates are based on 12-14 gpm/ft² (29-34 m³/hr/ft²) using 50°F (10°C) water. A different backwash rate may be required depending upon water temperature.

Examples of Filter Applications

- Food and Beverage—Improved taste and increased cost savings
- Drinking Water—Reduces turbidity and chlorine; improves taste and clarity

Standard Features

- Single or Multiple Tank Configurations
- Culligan's Smart Controller—More control over your equipment with programming and monitoring capabilities typically found in more expensive PLC controls, a variety of add-on options for advanced instrumentation and communication let you easily customize the system to help meet your needs
- Telemetric Capability
- Regeneration Initiation by choice or

- Boilers—Turbidity reduction, reduce sludge blowdown
- Light Industry Processes—Reduces particulate matter

- combination of time clock, flow meter or differential pressure switch
- Carbon Filters—For reduction of organics (flow rates up to 48 gpm per tank), or chlorine (flow rates up to 96 gpm per tank)
- Depth Filters—Flow rates up to 145 gpm per tank
- Culligan's Multiport Valve—Our guided perimeter-designed diaphragm valves are built with reinforced rubber components to resist damage from particulates in the water

- Pretreatment—For softeners, RO's and DI systems
- Vehicle Wash—Turbidity reduction
- Grocery/Retail—Quality water for aesthetics and help extend equipment life

- and ensure smooth operation free of water hammer. The inside and outside surfaces of the valve are electro-coated to deter corrosion. The valve was designed with serviceability in mind; accessibility for installation and maintenance won't be an issue.
- Corrosion resistant tanks—Made of low carbon steel with epoxy interior lining and finish coat painted exterior

Optional Features & Accessories

- Potentiated Progressive Flow—Culligan's Smart Controller can monitor flow demands, bringing additional tanks on-line or off-line as flows increase or decrease
- Differential Pressure Switch
- ASME Code Tanks

- Gauge Packages—Pressure gauges provided for mounting at the inlet and outlet connection
- Separate source regeneration kits
- Skid Mounted—Fully pre-piped and wired systems for single point field utility

- connection of inlet, outlet, drain and power supply
- Flow Measuring Devices—Available for volume based regeneration initiation
- Remote Display
- RS232, RS485, Modbus PLC Output

| Model | Carbon Filters | | | | | |
|----------|--|---|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------|
| | Service Flow Rates | | Backwash Flow ² (gpm/psf) | Pipe Size (inches) | Media Qty. (lb/box) | |
| | Total Order B Organic Removal ¹ (gpm @ psi drop / gpm @ kPa drop) | Dechlorination ² (gpm @ psi drop / gpm @ kPa drop) | | | | |
| CSM-242R | 16 @ 3 | 31 @ 6 | 30 | 2 | 8 | 24 x 54 |
| | 60.6 @ 20.7 | 117.3 @ 41.4 | 113.6 | 50.8 | 0.227 | 610 x 1,372 |
| CSM-302R | 25 @ 4 | 49 @ 7 | 45 | 2 | 12 | 30 x 60 |
| | 94.6 @ 27.6 | 181.5 @ 48.3 | 170.2 | 50.8 | 0.34 | 762 x 1,524 |
| CSM-362R | 35 @ 3 | 71 @ 11 | 70 | 2 | 18 | 36 x 60 |
| | 132.5 @ 20.7 | 262.7 @ 6.9 | 265 | 50.8 | 0.51 | 914 x 1,524 |
| CSM-422R | 48 @ 4 | 96 @ 13 | 95 | 2 | 24 | 42 x 60 |
| | 181.7 @ 27.6 | 363.4 @ 20.7 | 358.6 | 50.8 | 0.68 | 1,067 x 1,524 |

¹ Service flow rates for taste, odor & organic removal are based on 5 gpm/ft² (12 m³/hr/ft²).

² Service flow rates for dechlorination are based on 10 gpm/ft² (24 m³/hr/ft²).

³ Backwash flow rates are based on 10 gpm/ft² (24 m³/hr/ft²) using 50°F (10°C) water. A different backwash rate may be required depending upon water temperature or the type of carbon used.

NOTE: Operational, maintenance and replacement requirements are essential for this product to perform as advertised. Specifications shown are for single models. Also available in multiple tank configurations.

All pressure drop figures are based on new filter media and a water temperature of 60°F.

Depth filters are capable of 10 micron effluent water quality, whereas all other filter types are capable of 40 micron effluent water quality.



www.culliganmatrixsolutions.com • 866-787-4293

For over 75 years, Culligan has made better water. Our global network, comprised of 800+ dealers and international licensees in over 90 countries, is dedicated to addressing your water-related problems. As a worldwide leader in water treatment, our sales representatives and service technicians are familiar with the local water conditions in your area. Being global and local position us to deliver customized solutions to commercial and industrial water issues that affect your business and your bottom line.

All trademarks used herein are registered trademarks of Culligan International Company.

Products manufactured or marketed by Culligan and its affiliates are protected by patents issued or pending in the United States and other countries.

Culligan reserves the right to change the specifications referred to in this literature at any time, without prior notice.

More 



The Culligan Side Mount (CSM™) Series Heavy-Duty Water Softener System



EXAMPLES OF MARKETS SERVED:

CLINICS
EDUCATIONAL FACILITIES
ENERGY & POWER
FOOD & BEVERAGE PRODUCTION
FOOD SERVICE/RESTAURANTS
GROCERY
HEALTHCARE/HOSPITALS/BIO-PHARMACEUTICAL
HOSPITALITY/LODGING
MANUFACTURING
MUNICIPAL DRINKING WATER
OIL & GAS

Efficient and Scalable Heavy-Duty Water Treatment System

Use Culligan equipment to help meet the highest standard of water quality at your facility. The Culligan Side Mount heavy-duty softener reduces hard water contaminants*, even for large flow volume applications, reducing scale buildup that can affect equipment performance. The Culligan-exclusive Smart Controller allows you to efficiently set up and manage your water treatment. Using optional accessories, monitor water usage data, such as the flow rate and volume, and regenerate the system as needed, saving resources and money.

The CSM softener is part of the Culligan Matrix Solutions™ that combine durable and efficient equipment, systems experience, and technical experts who understand your unique requirements. From planning your system to installing your water treatment equipment, Culligan Matrix Solutions offer options that help deliver the quality of water to meet your needs. Contact Culligan today to learn more about the CSM softener system.

*contaminants are not necessarily in your water.

Culligan Matrix Solutions Advantages:

- Simple System Integration
- Global Product Platform
- Flexible Configurations
- Quick Delivery/Easy Installation
- Exclusive Culligan Advanced Electronics
 - Historical Operating Data
 - Alarm Recognitions
 - US Standard and Metric Readings
 - Remote Monitoring Options
 - Telemetry Options



Pre-Treatment
Solutions



Membrane
Solutions



Deionization
Solutions



Storage
Solutions



Distribution
Solutions

Warranty

Culligan's CSM water softeners are backed by a limited 1-year warranty against defects in material, workmanship and corrosion. In addition, softener tanks are warranted for a period of 5 years.[†]

[†] See product warranty for details. Culligan will provide a copy of the warranty upon request. Some localized low corrosion water. A softener cannot correct the condition, so its potential warranty duration liability for corrosion of plumbing lines, fixtures, or water-using equipment. If you expect corrosion, you independently specified Culligan should not be expected to help correct the problem.

System Specifications

| Specification | BS | Metric |
|--------------------------|---|-------------|
| Inlet Pressure (Maximum) | 30–100 psig | 210–410 kPa |
| Power | 120 Vrms 50/60Hz | |
| Feed Water Temperature | 40–120° F | 44° C |
| Salinity (Maximum Inlet) | 5 mg/L, max. [‡] 1 mg/L, max. [‡] 5 mg/L, max. [‡] | |

[‡] 120V and 240V and 240V/10 total treatment included.
[‡] See model specifications for details.

Examples of Softener Applications

- Food and Beverage—Improved taste
- Educational Facilities—Bottle and cooling tower make-up water for scale reduction and improved energy costs
- Restaurants—For dishwashing, cleaning metal parts, scale reduction
- RO Systems/DT Pretreatment
- Car Washes—Quality results, detergent and water foaming savings, scale reduction
- Apartment buildings, assisted living facilities and hotels—Quality water for laundry, dishwashers, boilers
- Geology/Hotel—Quality water for aesthetics and help extend equipment life

Standard Features

- Single, Multiple Tank Configurations—Hardness removal capacities up to 900,000 grains per tank. Continuous flow rates up to 201 gpm per tank.
- Culligan's Smart Controller—More control over your equipment with programming and monitoring capabilities typically found in more expensive PLC controls. A variety of add-on options for advanced instrumentation and communication let you easily customize the system to help meet your needs.

Optional Features & Accessories

- Corrosion resistant inline system construction for long life
- Steel Mounted—Fully pre-piped and wired systems for single point build utility connection of inlet, outlet, drain and power supply
- Perennial Progressive Flow—Culligan's Smart Controller can monitor flow demands beinging additional softening tanks on-line or offline as flows increase or decrease
- ASME Code Tanks
- Brno Radion—radius operating costs
- Perennial Aqua-Sensor™ Control—Inhibits regeneration only when needed based upon water hardness, automatically adjusts to changes in raw water hardness and water consumption
- Flow Measuring Devices—also available for direct connection to the Culligan Smart Controller for volume based regeneration inhibition

- Light Industry—For process and make-up water, boiler and cooling system pretreatment, general housekeeping
- Office buildings—For heating plant pretreatment, tenant convenience, general housekeeping

- Corrosion resistant tanks—Made of low carbon steel with epoxy interior lining and finish coat painted exterior

- Remote Display
- RS232, RS485, Modbus PLC Output

CSM Water Softener System

| Model | Resin Qty. (lb/1) | Pipe Size (in./mm) | Flow Rates (gpm/lpm) | | Tank Size*** (in./mm) | |
|-------|-------------------|--------------------|----------------------|--------|-----------------------|---------------|
| | | | Continuous* | Peak** | Softener | Brno**** |
| 150-2 | 5 | 2 | 67 | 94 | 20 x 54 | 24 x 50 |
| | 142 | 50.8 | 253.6 | 355.8 | 508 x 1,372 | 610 x 1,270 |
| | 7 | 2 | 76 | 102 | 24 x 54 | 24 x 50 |
| 210-2 | 198 | 50.8 | 287.7 | 386.1 | 610 x 1,372 | 610 x 1,270 |
| | 10 | 2 | 84 | 112 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| | 283 | 50.8 | 317.9 | 423.9 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| 300-2 | 10 | 3 | 152 | 210 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| | 283 | 76.2 | 575.3 | 794.9 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| | 15 | 2 | 79 | 106 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| 450-2 | 425 | 50.8 | 299 | 401.2 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| | 15 | 3 | 125 | 192 | 30 x 60 | 30 x 50 |
| | 425 | 76.2 | 511 | 736.7 | 762 x 1,524 | 762 x 1,270 |
| 600-2 | 30 | 3 | 94 | 125 | 36 x 60 | 39 x 48 |
| | 566 | 50.8 | 355.8 | 478.1 | 914 x 1,524 | 991 x 1,219 |
| | 20 | 3 | 163 | 212 | 36 x 60 | 39 x 48 |
| 600-3 | 566 | 76.2 | 892.7 | 953.8 | 914 x 1,524 | 991 x 1,219 |
| | 25 | 2 | 97 | 129 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| | 798 | 50.8 | 367.1 | 488.3 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |
| 750-2 | 25 | 3 | 201 | 267 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| | 798 | 76.2 | 740.8 | 1010.6 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |
| | 30 | 2 | 96 | 127 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| 900-2 | 850 | 50.8 | 363.4 | 480.7 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |
| | 30 | 3 | 193 | 259 | 42 x 60 | 42 x 48 |
| | 850 | 76.2 | 730.5 | 980.3 | 1,067 x 1,524 | 1,067 x 1,219 |

*Flow rate at 15 psi pressure loss.

**Flow rate at 25 psi pressure loss.

***Dimensions are diameter by tank height.

****Also systems are optional.

Flow rates shown are per tank. Low flow dosing (flow rates less than 0.5 gpm per tank) may cause resin bed compaction and reduce efficiency. CSM product warranty void under the above listed.

Finally, an end-to-end solution from a single source.



Place your commercial and industrial water treatment needs in the hands of a global leader.

For over 70 years, Culligan has made better water. Our global network, comprised of 800+ dealers and international licensees in over 90 countries, is dedicated to addressing your water-related problems. As a worldwide leader in water treatment, our sales representatives and service technicians are familiar with the local water conditions in your area. Being global and local position us to deliver customized solutions to commercial and industrial water issues that affect your business and your bottom line.

www.culliganmatrixsolutions.com • 866-787-4293

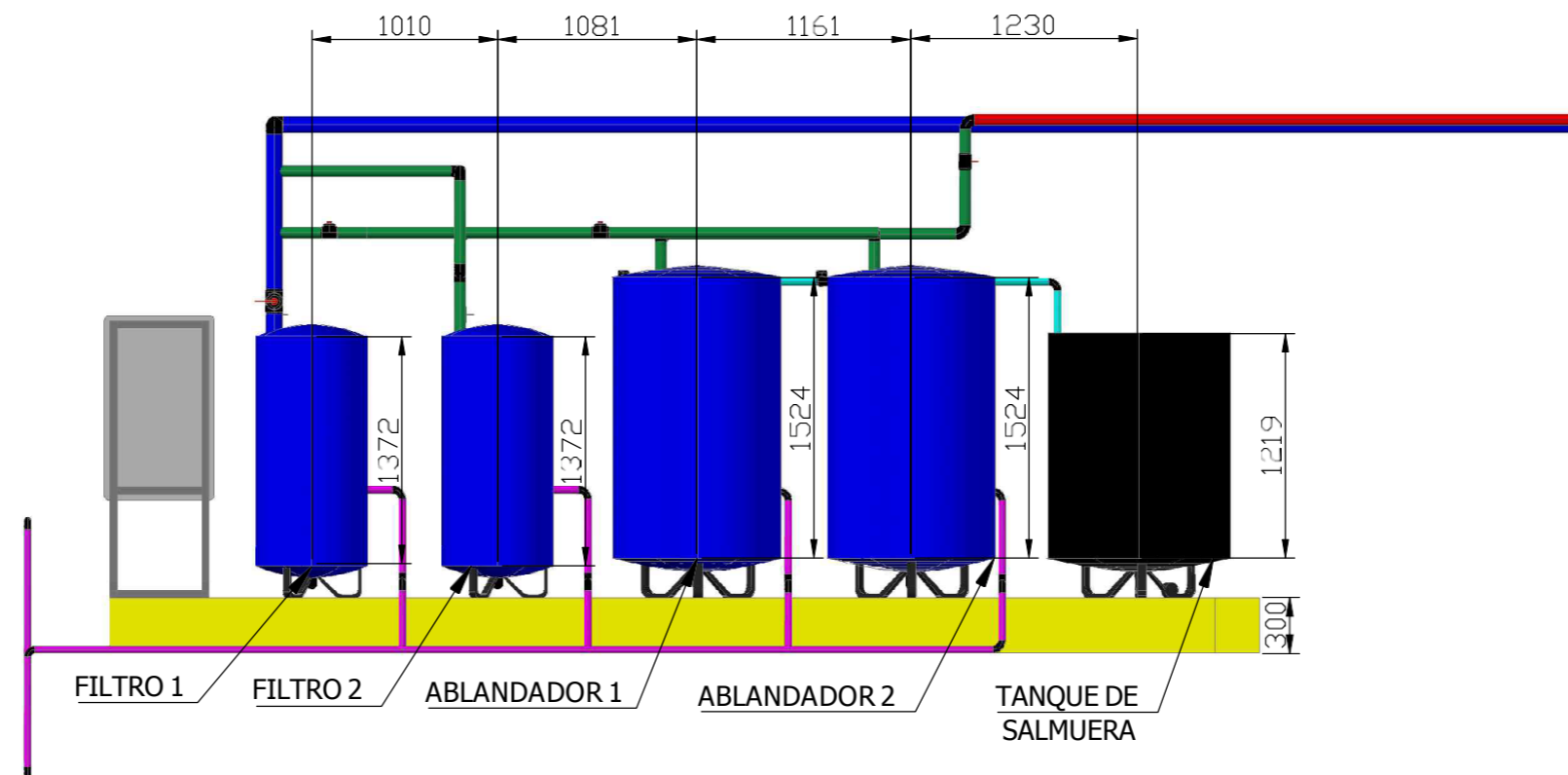
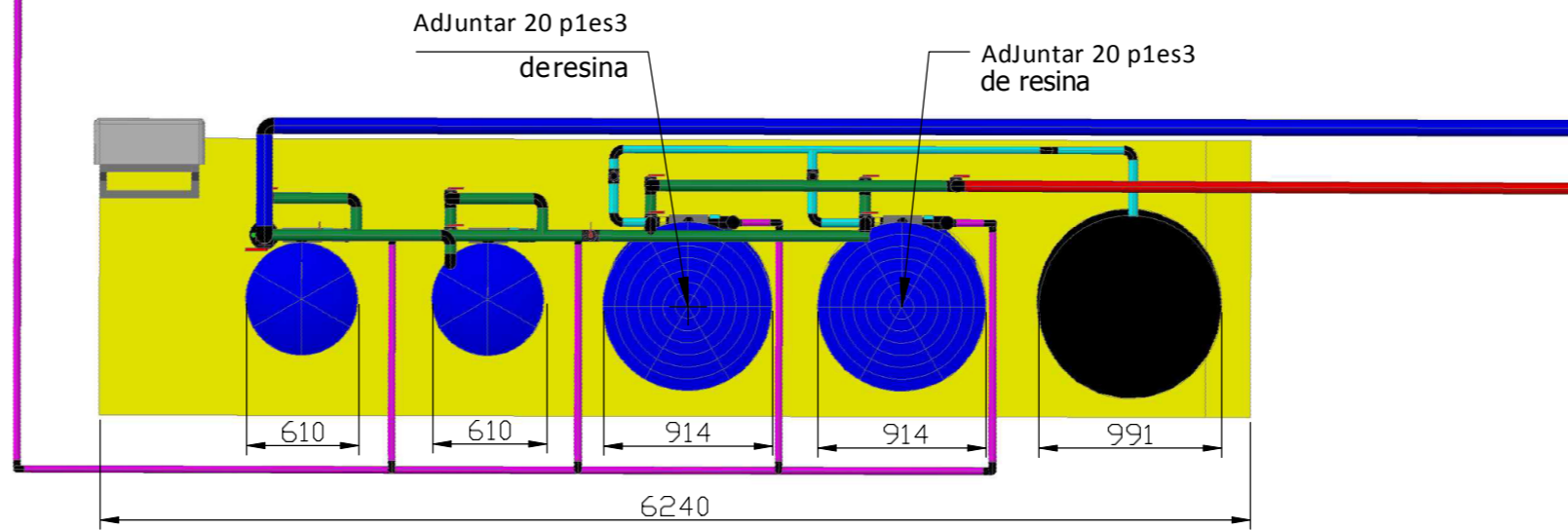
800 Donnelly # 44964 Print 02/10 ©2010 Culligan International Company.

All trademarks and trade names are registered trademarks of Culligan International Company. Products manufactured or installed by Culligan and its affiliates are protected by patents issued or pending in the United States and other countries. Culligan reserves the right to change the specifications referred to in this literature at any time, without prior notice.



Printed on recycled paper.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO



| | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---|--|-----------|
| Tolerancia. | Peso: | Material: ACERO INOXIDABLE 304L | | |
| Fecha: | Nombre: | Título: | | Escala: |
| Dibujo: 03-03-2016 | REINOSO VALERIA | DISEÑO DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO | | 1: 40 |
| Rev1s6: 03-03-2016 | REINOSO VALERIA | | | |
| Aprob6: 03-03-2016 | Dr. GERARDO LEON | Número de lam1na: 01 - 01 | | Registro: |
| Edic16n Mod1ficac16n: Fecha: Nombre: | | | | |

