

2019

ESTUDIO FÍSICO QUIMICO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO TRATADA POR EQUIPOS SCALE REMOVE SYSTEM (SRS)

HELO OLMEDO, NÉLIDA TAMARA

<https://hdl.handle.net/11673/47882>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

ESTUDIO FÍSICO QUÍMICO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO TRATADA POR
EQUIPOS SCALE REMOVE SYSTEM (SRS)

Trabajo de Titulación para
optar al Título de Técnico
Universitario en
QUÍMICA MENCIÓN
QUÍMICA ANALÍTICA

Alumnos:

Nélida Tamara Helo
Olmedo

Profesor Guía:

Maria Elisa Escobar

Msc.en Ciencias Médicas
Mención Biología Celular y
Molecular.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mis padres Rafael Helo y Nélida Olmedo por su apoyo incondicional en cada paso que di, en momentos un poco confusos de hacia donde quería llevar mi futuro, siempre supe que amaba la química, tuve algunos tropiezos, pero por fin llego el momento de terminar esta etapa.

RESUMEN

El agua cumple un rol fundamental en la vida y conservación del planeta, por lo que el uso debe ser controlado para no contaminar. El presente estudio se realiza bajo la importancia del agua en el planeta y su uso para los sistemas de refrigeración que la utilizan como refrigerante así sean torres de enfriamiento, chillers o calderas, en las cuales se presenta elevada evaporación de esta y por ende la concentración de la misma generando problemas tales como corrosión, incrustación y formación de algas, lo que produce una pérdida de eficiencia en la transferencia de calor y en la durabilidad de las cañerías. A Chile a través de Maxcontrol S.p.a llegan los equipos Scale Remove system o SRS por sus siglas en inglés de la empresa Israelí CQM Ltda, que prometen a través de la electrólisis natural del agua, prevenir la corrosión elevando el pH a la salida del equipo, evitar que se generen las incrustaciones debido a que el sistema genera que estas se precipiten de forma acelerada al interior del equipo sacando las sales del sistema antes que se incrusten y eliminando la formación de algas por la producción continua de cloro. Para entender de mejor manera el funcionamiento de estos equipos se realizó el análisis del agua de entrada o agua de make up, que es el agua sin tratamiento que entra al sistema de refrigeración que puede ser agua de pozo o agua potable, y el agua de recirculación que es el agua dentro del sistema, obteniendo como resultado que para garantizar el correcto tratamiento del agua con los equipos SRS se debe mantener la conductividad hasta un máximo de 5500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ permitiendo aumentar los ciclos de concentración, lo que se traduce inmediatamente en un ahorro de agua y mantener en la torre las mismas condiciones que entregaría un tratamiento químico convencional, sin los riesgos asociados a la manipulación de los mismos.

ÍNDICE

Introducción	1
1. Fundamento teórico	3
1.1. Antecedentes generales	5
1.1.1. El Agua y sus usos	5
1.1.2. Problemática en los sistemas de refrigeración	6
1.1.3. Aplicación tecnología SRS de CQM	9
1.1.4. Parametros	16
1.1.5. pH	16
1.1.6. Conductividad	16
1.1.7. Cloro y Cloruros	17
1.1.8. Cobre y Hierro	18
1.1.8.1. Silice, magnesio, dureza y alcalinidad	18
1.1.9. Normas	18
2. Parte experimental	21
2.1. Fundamento teórico	23
2.2. Equipos y materiales	23
2.2.1. Equipos	23
2.2.2. Materiales	23
2.3. Reactivos y soluciones	23
2.4. Procedimiento	24
2.4.1. Toma de muestra	24
2.4.2. Potenciometro	24
2.4.3. Fotometro	24
2.5. Expresiones de cálculo	26
2.5.1. Desviación estándar	26
2.5.2. Media aritmética	26
2.5.3. Media Geometrica	26
2.6. Resultados	27
2.7. Discusión	31
Conclusiones y recomendaciones	33
Bibliografía	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Molécula de agua

Figura 1-2. Corrosión causada por microorganismos

Figura 1-3. Incrustación dentro de las tuberías de un chiller.

Figura 1-4. Instalaciones de CQM

Figura 1-5. Efectos del espesor del sedimento de tubería sobre el coeficiente de transferencia de calor de la unidad.

Figura 1-6. Proceso químico dentro del SRS

Figura 1-7. Incrustaciones

Figura 1-8. Instalación SRS

Figura 1-9. Corrosión

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Clasificación de aguas para riego según su salinidad

Tabla 2-1. Especificaciones fotómetro

Tabla 2-2. Resultados del agua de make up de central térmica con agua potable.

Tabla 2-3. Resultados del agua de recirculación de central térmica con agua potable.

Tabla 2-4. Resultados del Agua de Make up de central térmica con agua de pozo

Tabla 2-5. Resultados del Agua de Recirculación de central térmica con agua de pozo

Tabla 2-6. Estadísticos del agua de make up de central térmica con agua potable.

Tabla 2-7. Estadísticos del agua de recirculación de central térmica con agua potable.

Tabla 2-8. Estadísticos del Agua de Make up de central térmica con agua de pozo

Tabla 2-9. Estadísticos del Agua de Recirculación de central térmica con agua de pozo

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

SRS: Scale remove system
C.Q.M:
pH: potencial de hidrogeno
Alc.: Alcalinidad
Conduct.: Conductividad
Fe: Hierro
Mg: Magnesio
Cu: Cobre
Cl: Cloro
Cl-: Cloruros
SiO2: Silice
TDS: Total de Solidos
Ca: Calcio
CaCO3: Carbonato de Calcio
SO4: Sulfato
SiO2: Silice
mg/l: miligramos por litro
nm: nanometros

SIMBOLOGÍAS

$\bar{x}$: Media aritmética
MG: Media geometrica
S: Desviación estándar

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más importante para la vida. Es esencial para el ser humano, así como para el resto de los seres vivos que nos acompañan en el planeta Tierra y como recurso económico e industrial, ya que se utiliza en innumerables actividades industriales, involucra un consumo elevado y casi siempre resulta contaminada. [1]

Uno de los principales usos del agua en las actividades industriales es la refrigeración por su capacidad calorífica. Sin embargo, el uso trae consigo problemas de corrosión, incrustaciones y formación de algas que disminuyen la eficiencia del sistema por fisuras del materias u obstrucción de cañerías.

Actualmente existe un tratamiento convencional para tratar el agua de las torres de refrigeración, el cual usa productos químicos para atacar los problemas de incrustación, corrosión y algas. En general resuelven el problema, pero con el uso de productos adicionales al proceso los cuales pueden contaminar el agua. Sin embargo, existe un proceso de electrólisis como principio de funcionamiento con el cual se podría reemplazar el uso de químicos. Este proceso se lleva a cabo en un equipo llamado Scale Remove System (SRS) que induce la electrólisis del agua como principio de funcionamiento [2].

El SRS bombea el agua a una cámara electrolítica donde se producen las reacciones químicas sin utilización de químicos. En esta cámara, un cátodo de gran área crea un ambiente alcalino que promueve la acumulación de sílice en el interior de la cámara y causa que la corrosión se acumule como sólidos suspendidos que son removidos con un filtro de arena. El hidrociclón de la cámara asegura que toda el agua sea tratada y que decante las sales incrustantes dentro de la misma. Finalmente, el agua que sale de la cámara se encuentra libre de sílice, lo que implica un desequilibrio químico en su composición. Este desequilibrio químico causa que, al continuar su recorrido, el proceso de restauración consuma la sílice acumulada en las tuberías y equipos. El proceso genera así mismo Cloro en forma natural, lo que destruye bacterias y otros micro-organismos.

El objetivo de este estudio es determinar el comportamiento de los equipos SRS en el tratamiento de las aguas de torres de refrigeración con el fin de validar que su implementación permite eliminar el tratamiento convencional el cual consiste en añadir químicos a las torres de enfriamiento para evitar las incrustaciones, la corrosión, generación de algas, etc.

Capítulo 1: Fundamento Teórico

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

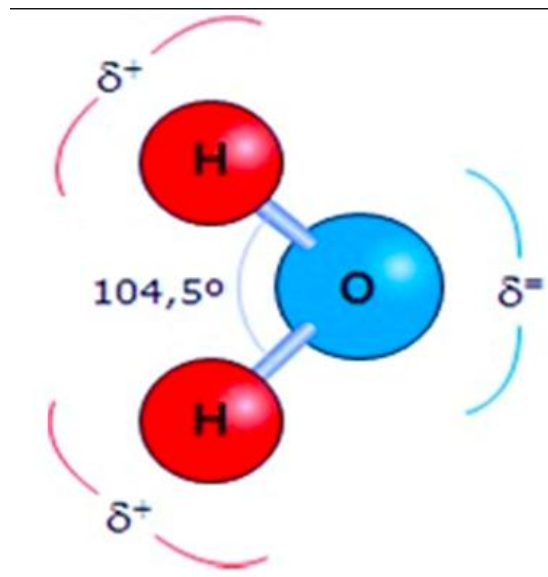
1.1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1.1. El Agua y sus usos

El agua ocupa la mayor parte de nuestro planeta al igual que de nuestro cuerpo estudios científicos demuestran que en ella surgió la vida.

De manera estricta el agua corresponde a un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno, los enlaces H-O son covalentes, dado que comparten un par electrónico. Debido a que el oxígeno tiene un carácter no metálico mayor (posee una mayor electronegatividad), el par electrónico de enlace está más cerca de este elemento que del hidrógeno, determinando la polaridad del enlace. La estructura de la molécula de agua es angular, y el ángulo de enlace es de $104,5^\circ$. La estructura del agua es un dipolo, donde el oxígeno tiene una densidad de carga negativa, y asociado a los hidrógenos encontramos una densidad de carga positiva. La condición de polaridad de las moléculas del agua hace que estas se atraigan entre sí, generando una interacción molecular entre el polo positivo de una molécula y el polo negativo de otra, mediante una asociación llamada *puede de hidrógeno* o enlace puede de hidrógeno. Desde el punto de vista químico, el agua es considerada como un compuesto. [3]

Esta estructura le proporciona al agua la característica única de disolvente universal esto la convierte en el líquido que más sustancias disuelve, esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interaccionan con las moléculas polares del agua.



Fuente: umomono.com

Figura 1-1. Molécula de Agua

Los usos principales del agua en la industria son:

- Sanitario: Empleado en inodoros, duchas e instalaciones que garanticen la higiene personal.
- Transmisión de calor o refrigeración: Es, como mucho, el uso industrial que más cantidad de agua emplea. Aproximadamente el 80 % del agua industrial corresponde a esta aplicación, siendo las centrales térmicas y nucleares las instalaciones que más agua necesitan.
- Producción de vapor: Suele estar dirigida a la obtención de un medio de calentamiento del producto que se desea elaborar.
- Materia prima: El agua puede ser incorporada al producto final, como en el caso de la producción de bebidas, o puede suministrar un medio adecuado a determinadas reacciones químicas.
- Utilización como disolvente en los diferentes procesos productivos.
- Labores de limpieza de las instalaciones.
- Obtención de energía: Referido a las centrales hidroeléctricas y - a las actividades que usan vapor de agua para el movimiento de turbinas. [4]

1.1.2. Problemática en los sistemas de refrigeración

Un problema muy frecuente es el crecimiento bacteriano. El agua con temperaturas próximas a 35°C, altas concentraciones de O₂ y luz UV, constituyen un microclima adecuado para crecimiento de microorganismos (algas, bacterias u hongos), y uno de los efectos de estas condiciones es la obstrucción de tuberías, disminuyendo la eficiencia del sistema, para estos casos un control mecánico de los microorganismos que se desarrollan no es viable, por lo que se impone un tratamiento químico de los mismos [5].



Fuente: Tomada por el autor

Figura 1-2. Corrosión causada por microorganismos.

Los sistemas de enfriamiento contienen diversos materiales metálicos (aceros, acero galvanizado, aleaciones de cobre, etc.) y se le deben agregar productos para controlar incrustaciones o crecimiento microbiano, los que estarán disueltos en el agua del circuito, constituyendo un medio muy complejo. Las gentes desinfectantes más utilizadas son, cloro, bromo y dióxido de cloro, la dosificación de biosidas es específica para cada tipo de microorganismo, de forma tal de que la concentración del biosida sea adecuada, pero siempre es nociva para la salud de los trabajadores [5].

El agua de la torre está en permanente contacto con el aire y en cada recirculación la concentración de oxígeno disuelto será muy cercana a la correspondiente a la de saturación. Este problema es grave pues la corrosión se dará en los equipos más caros: condensadores de amoníaco, compresor, intercambiadores de calor, compresor de tornillo, etc., ocurriendo en forma localizada [5].

Una posible solución, sería modificar las características agresivas del agua, controlando la concentración de oxígeno disuelto, por ejemplo, por agregado de sulfito, sin embargo sería excesivamente caro y a la vez ineficiente [5].

Se utiliza también inhibidores de corrosión, los que actúan protegiendo la superficie del material metálico, cuya acción es la de despolarizar (disminuir o detener el flujo eléctrico). Existen dos tipos de inhibidores, anódicos y catódicos. En general, los catódicos precipitan sobre el metal formando una barrera protectora al ataque del

oxígeno y los anódicos promueven la formación de óxidos estables del metal, lo que limita la disolución del mismo.

Los inhibidores de corrosión más comunes son:

- anódicos: molibdatos, ortofosfatos, nitritos, silicatos;
- catódicos: zinc, polifosfatos, fosfonatos. [5]



Fuente: tomada por el Autor.

Figura 1-3. Incrustación dentro de las tuberías de un chiller.

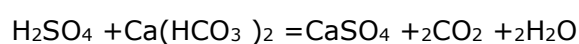
Algunas consideraciones a tener en cuenta con relación a posibles depósitos en los sistemas de enfriamiento, son las precauciones de que:

- TDS < 2500 mg/L
- [Ca++] CaCO_3 < 300
- [Ca++] $\text{CaCO}_3 \times [\text{SO}_4] = \text{CaCO}_3$ < 500.000
- [SiO₂] < 120 mg/L

También es posible utilizar sistemas de tratamiento que modifiquen algunas de las sustancias presentes o sus características. Estos sistemas pueden agruparse en dos categorías.

a) Tratamiento ácido

El agregado de ácido sulfúrico reduce la alcalinidad presente en el agua según:



Esto disminuye la probabilidad de formación de CaCO_3 , pero es un tratamiento peligroso por utilizar ácido concentrado en el sistema, requiriendo un control exhaustivo del proceso, al igual que en la utilización del biosida mencionada

anteriormente, estas formas, siempre son nocivas para la salud de los trabajadores de la planta.

b) Tratamiento alcalino

Otra opción es mantener el pH del circuito en valores alcalinos y agregar productos que:

- mantengan el calcio en solución, secuestrantes o dispersantes (fosfonatos, poliacrilatos)
- modifiquen la estructura cristalina de los precipitados de calcio, para que formen lodos que puedan ser removidos por purga.

Por lo anterior, es indispensable una cuidadosa evaluación al elegir un sistema de control de la corrosión [5].

1.1.3. Aplicación tecnología SRS de CQM

CQM Ltd. Es una empresa Israeli fundada en 1996, se dedica a desarrollar y vender equipos de tratamiento de agua y prevención de incrustaciones para mantener el intercambiador de calor y las torres de refrigeración limpias y eficientes de forma continua, uno de estos equipos es el SRS específico para las torres de refrigeración. Posee instalaciones en todo el mundo, sus productos son compatibles con las directivas CE, ISO 9001: 2000 y los estándares de certificación de etiqueta verde, CQM es miembro de NAESCO, la Asociación Nacional de Compañías de Servicios de Energía (ESCO) de EE. UU. Y ESCO registrada en Israel. [2]



Fuente: CQM

Figura 1-4. Intalaciones de CQM.

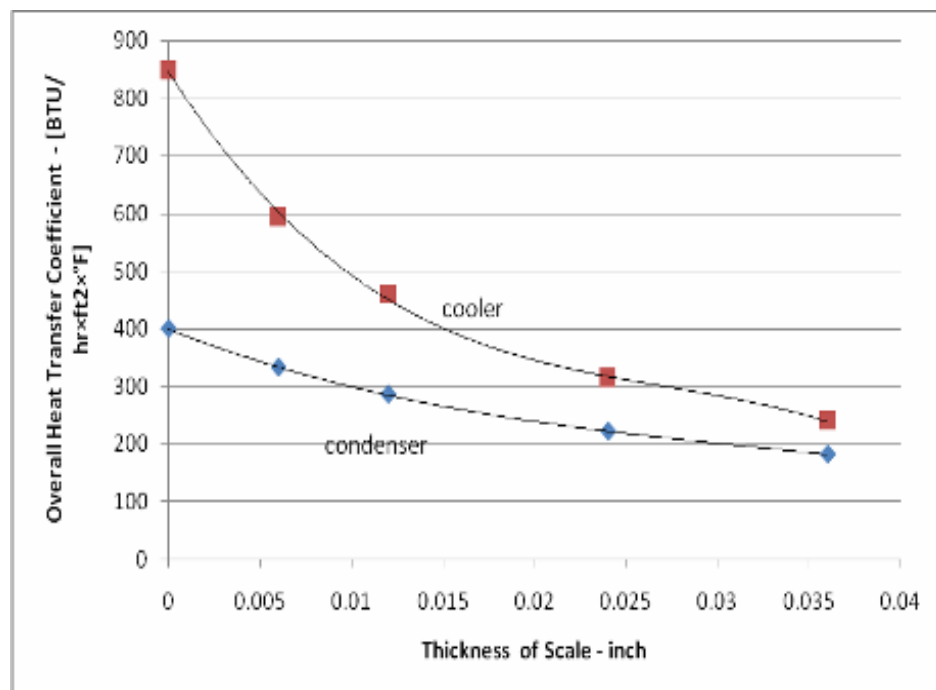
El fenómeno conocido en los círculos industriales como ensuciamiento (lodo), es causado por la corrosión, la actividad bacteriana y distintos procesos, que ennegrece el agua y hace que los sedimentos como las incrustaciones, el limo, las algas entre otros se desarrollen en todas las partes del sistema. Los sedimentos se adhieren a todas las secciones del sistema de enfriamiento, obstruyendo y reduciendo drásticamente su eficiencia energética [2].

El ensuciamiento disminuye la eficiencia del proceso dando lugar a mayores costos de operación debido a:

- Flujo reducido
- Aumento de la presión
- Pérdida de rendimiento
- Reemplazo del equipo
- Limpieza y eliminación de desechos tóxicos
- Peligros de seguridad incrementados
- Uso continuo de aditivos químicos costosos [2].

La limpieza parcial del equipo no resuelve el problema, más bien aumenta la localización del sedimento y las incrustaciones en puntos fijos del equipo, haciendo que se vuelvan mas gruesos, el ensuciamiento es inestable y se hace mayor con el tiempo [2].

El ensuciamiento es muy común tanto en el refrigerador (evaporador) como en el condensador de los sistemas de aire acondicionado, y además de disminuir el coeficiente de transferencia de calor, pone en peligro a los operadores del sistema de mantenimiento que limpian los filtros y arreglan grietas y fugas, debido a la alta carga bacteriana y de gérmenes como Legionella [2].



Fuente: CQM

Figura 1-5. Efectos del espesor del sedimento de tubería sobre el coeficiente de transferencia de calor de la unidad.

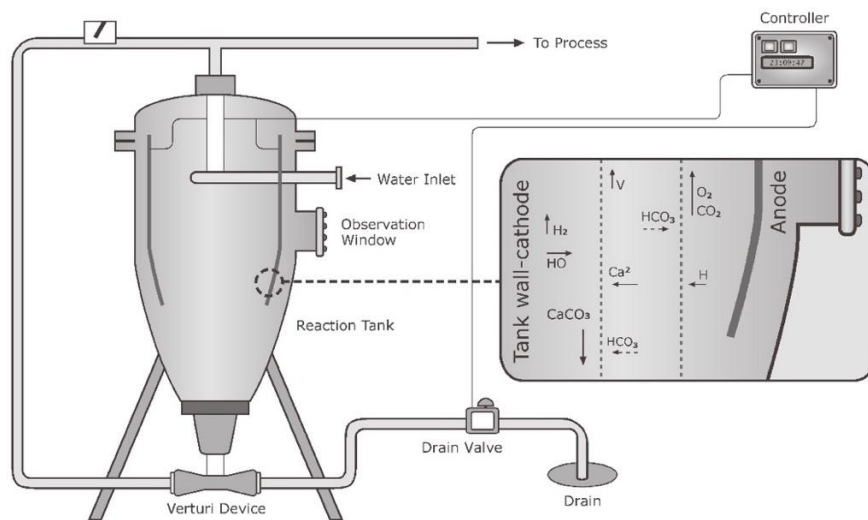
Existen dos sistemas que combaten el problema

1. Soluciones sin conexión

La solución sin conexión requiere cerrar el proceso para la limpieza. Utiliza productos químicos o medios mecánicos para hacer el trabajo. El uso de productos químicos que son dañinos para el medio ambiente requiere extremas medidas de seguridad y eliminación especializada. Entre los tratamientos de limpieza, el ensuciamiento se acumula y dificulta el rendimiento. Estos inconvenientes hacen que este tipo de métodos de limpieza sea costosos, engorrosos e ineficientes [2].

2. El método en línea

El método en línea es ambientalmente sano. La limpieza en línea no requiere cerrar porque es un proceso continuo. El ensuciamiento no se acumula porque el procedimiento de limpieza se lleva a cabo constantemente. En resumen, la limpieza del intercambiador de calor en línea es la opción más ingeniosa disponible en la actualidad [2].



Fuente: CQM

Figura 1-6. Proceso químico dentro del SRS.

El agua de enfriamiento se inyecta al tanque de reacción, donde electrodos cargados positivamente, se encuentran suspendidos en las paredes del tanque, mientras que dichas paredes están cargadas negativamente, haciendo un cátodo. Este entorno electrolítico crea un alto pH en el cátodo, causando que las sales minerales se precipiten, y se adhieran a las paredes del tanque, previniendo que se incrusten en las superficies del intercambiador u otras partes del sistema. En el ánodo la electrólisis genera cloro y otros desinfectantes residuales, que elimina las bacterias en el sistema sin aditivos químicos. Se aprecia en la figura, la forma cónica del tanque, lo que permite que toda el agua que entra en él sea tratada. Los sólidos suspendidos pasan a ser recolectados en el filtro de la unidad [2].

Reacciones químicas en el trabajo del SRS

El agua fluye a través de la cámara electrolítica y funciona como un medio que cierra el ciclo eléctrico permitiendo a la corriente continua fluir entre el ánodo y el cátodo del sistema. Ocurren dos procesos desinfectantes en la superficie del ánodo (+):

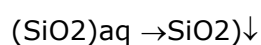
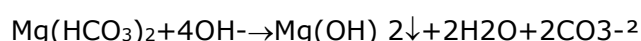
- Reacción de oxidación del ánodo
- Reacción ácida catalítica

La oxidación del ánodo es una serie de reacciones que produce gases y radicales libres con potencial oxidante que desinfecta el agua.

Funcionamiento:

- El agua en el ciclo es bombeada hacia la cámara electrolítica
- El pH del agua se eleva ligeramente incrementando el ambiente alcalino y previniendo procesos corrosivos.
- Se produce cloro libre que ayuda a destruir bacterias.
- Un pH más alto provoca que la corrosión se agregue en sólidos suspendidos que se pueden eliminar con un filtro de arena.

Como resultado del pH básico, en la superficie del cátodo ocurren las siguientes reacciones:



Los principales componentes de las incrustaciones en el agua (MgCO_3 , CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, SiO_2) son casi completamente removidos en este proceso.

Las siguientes reacciones ocurren en la superficie del ánodo:

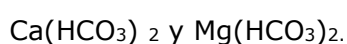


Además, este proceso produce cloruros activos que funcionan purificando el agua naturalmente, sin aditivos químicos dañinos [2].

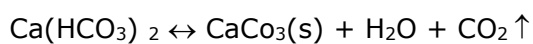
Formación de Incrustación

La incrustación se forma cuando el calcio y el magnesio se mezclan con los carbonatos en condiciones inestables del agua. Estos elementos son generalmente estables, sin embargo, cuando hay un aumento en la temperatura del agua, el pH o el cambio de la concentración del elemento, el equilibrio del agua se interrumpe causando que los iones reaccionen. El compuesto creado a partir de esta reacción de los iones libres se llama incrustación [2].

La teoría de la formación de incrustación afirma que el agua en su estado natural contiene una variedad de sólidos disueltos, incluyendo los principales: Carbonato de calcio y carbonato de magnesio.



El BiCarbonato de Calcio es soluble, pero aparece en compuestos de agua como un compuesto inestable como resultado de la siguiente reacción:



Cuando la temperatura del agua sube, el CO_2 libre escapa afectando la concentración de Ca y Mg. La cantidad de CO_2 disminuye y los iones Ca y Mg se convierten en carbonatos insolubles (incrustación) en el sistema de agua.



Fuente: CQM

Figura 1-7. Incrustaciones.

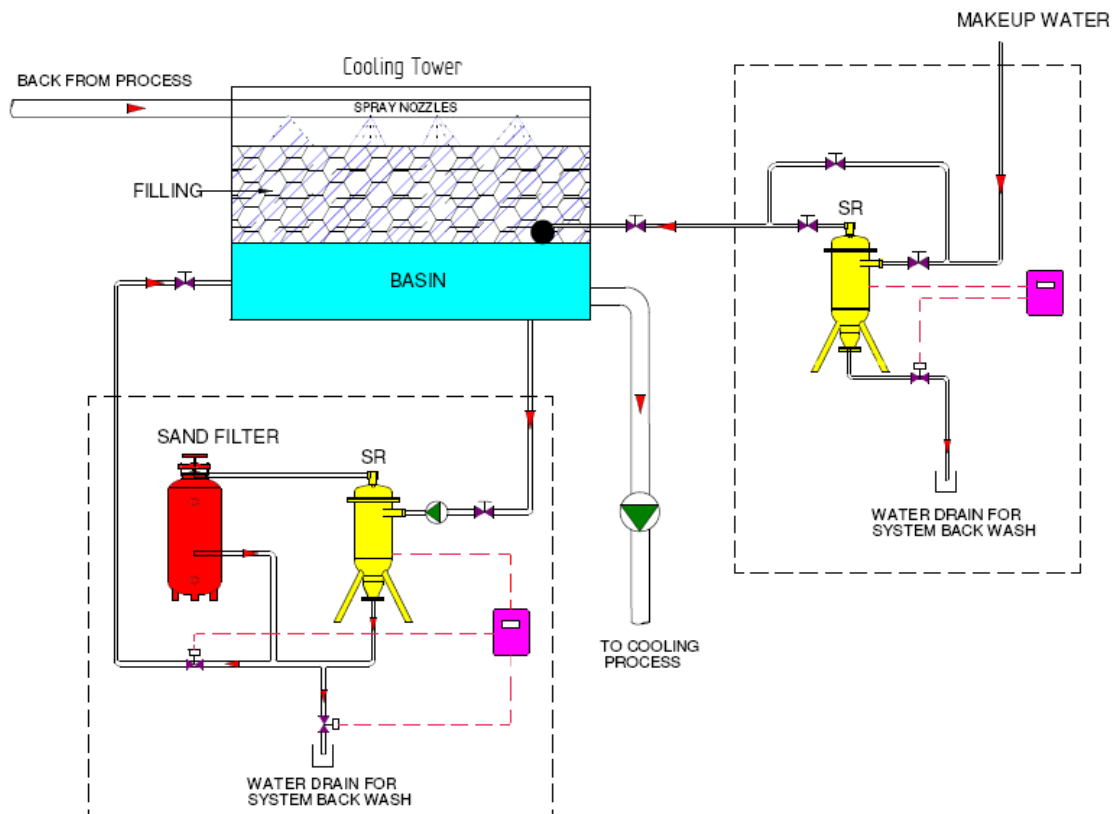
Beneficios de implementar el SRS

Con ahorro de energía, libre de químicos y requiriendo una baja mantención el SRS disminuye las incrustaciones, bacterias y corrosión usando electrólisis. Este proceso provee una alternativa limpia y amigable con el medio ambiente.

- Previene la acumulación de incrustaciones
- Crea equilibrio del agua que evita procesos corrosivos
- Oxida y elimina elementos corrosivos
- Elimina la necesidad de inhibidores de corrosión al trabajar a un nivel alto de pH alcalino
- Elimina los sólidos suspendidos de forma automática y continua
- Purifica el agua evitando crecimientos biológicos
- Destruye la vida microbiológica y previene el desarrollo de biofilms
- Proporciona un funcionamiento automático sin complicaciones
- Ofrece ahorros reales en mantenimiento continuo

La limpieza consiste en tratar el agua de make up antes de que llegue a la torre, tratando el agua de make up. Si esto no se hace, la malla se obstruye con las incrustaciones y reduce sustancialmente el rendimiento de enfriamiento de la torre. El S.R.S. mantiene el agua de reposición libre de incrustaciones nocivas y elimina la necesidad de un reemplazo de llenado frecuente, lo cual es necesario cuando la acumulación de barro obstruye el relleno [2].

Las cuencas de la torre de enfriamiento y el equipo aguas abajo también pueden verse afectados por la acumulación de incrustaciones nocivas, así como por



Fuente: CQM

Figura 1-8. Instalación SRS.

los lodos y otras bacterias y algas. Esto se traduce en una disminución de la torre de salida, el aumento de los costos, los daños a la torre de refrigeración y sus sistemas de condensador y peor aumento del consumo de energía. Además, las horas hombre y los aditivos químicos para mantener la torre son costosos y requieren mucho tiempo.

El agua en sistemas de circulación de agua fría entra en contacto continuo con hierro y otros metales diversos. Esto da lugar a la oxidación que causa la corrosión. Dado que el agua no se reemplaza durante largos períodos, la concentración de hierro disuelto en el agua se acumula más allá del punto de saturación y empieza a hundirse como lodo perjudicial que obstruye las tuberías y obstaculiza el proceso de intercambio térmico [2].



Fuente: CQM

Figura 1-9. Corrosión.

Además, los sedimentos de corrosión crean un lecho para bacterias que se alimentan de la corrosión. Estas bacterias, que se encuentran bajo los sedimentos, se alimentan del hierro disuelto por los ácidos que produce la bacteria. La solución más común, la adición de productos químicos, no soluciona adecuadamente el problema y daña los tubos, los accesorios y el equipo auxiliar.

El S.R.S utiliza tecnología electrolítica multitarea integrada para combatir cuatro problemas comunes inherentes a los sistemas de agua:

- Acumulación de la Incrustación
- Corrosión
- Biogrupo
- Sólidos suspendidos

Esto da como resultado la pérdida de producción en el sistema de agua de ciclo cerrado que ocurre en cuatro áreas:

- Enfriador / evaporador
- Fan-Coil y filtros

- El Sistema de Tubería Principal y su Equipo de Control
- Sistemas de condensación cerrados

En este proceso se producen dos tipos de desinfecciones en la superficie del ánodo en la cámara electrolítica:

- Una reacción de oxidación del ánodo
- Una reacción catalítica ácida

La reacción de oxidación del ánodo es una serie de reacciones que producen gases y radicales libres con altas propiedades de oxidación, que desinfectan el agua[2].

Permite el flujo continuo de agua de calidad limpia, utilizando relativamente pocos recursos hídricos y todo ello de una manera respetuosa con el medio ambiente [2].

1.1.4. Parametros

Los análisis que se realizaran son los que se solicitan para la mantención y/o implementación de algún tratamiento ya sea adición de químicos, ablandador, osmosis inversa o electrólisis dentro de los sistemas de refrigeración con agua.

Estos son: pH, Conductividad, TDS, Cloruros, Cloro, Cobre, Hierro, Silice, Magnesio, Dureza y Alcalinidad.

1.1.4.1. pH

Se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de protones: $\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+] = -\log [\text{H}^+]$ La medida del pH tiene amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas (por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). El pH es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas. La alcalinidad es la suma total de los componentes en el agua que tienden a elevar el pH del agua por encima de un cierto valor (bases fuertes y sales de bases fuertes y ácidos débiles), y, lógicamente, la acidez corresponde a la suma de componentes que implican un

descenso de pH (dióxido de carbono, ácidos minerales, ácidos poco disociados, sales de ácidos fuertes y bases débiles). Ambos, alcalinidad y acidez, controlan la capacidad de tamponamiento del agua, es decir, su capacidad para neutralizar variaciones de pH provocadas por la adición de ácidos o bases. El principal sistema regulador del pH en aguas naturales es el sistema carbonato (dióxido de carbono, ión bicarbonato y ácido carbónico).

1.1.4.2. Conductividad

La conductividad eléctrica de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. Como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida da un valor que no está relacionado de manera sencilla con el número total de iones en solución. Depende también de la temperatura. Está relacionada con el residuo fijo por la expresión conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) $\times f$ = residuo fijo (mg/L) El valor de f varía entre 0.55 y 0.9.

1.1.4.3. Cloro y cloruros

El cloro elemental es un gas amarillo-verdoso altamente soluble en agua. Cuando se disuelve en ausencia de sustancias nitrogenadas (con la materia orgánica nitrogenada forma cloraminas) u otros productos que puedan interferir, el cloro es rápidamente hidrolizado a ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico (HCl). A su vez el ácido clorhídrico se disocia fácilmente a iones hidrógeno y cloruro, mientras que el ácido hipocloroso, que es un ácido débil, se disocia parcialmente en iones hidrógeno e iones hipoclorito (OCl^-). Las proporciones relativas de Cl_2 , HOCl y OCl^- en equilibrio (especies que en conjunto se denominan cloro libre disponible) se encuentran controladas por el pH, la temperatura y la fuerza iónica. El cloro en agua reacciona fácilmente con las sustancias nitrogenadas para producir mono-, di- y triaminas, N-cloraminas y N-cloramidas y otros compuestos N-clorados (conocidos en conjunto como cloro disponible combinado). Tanto las formas de cloro libre como las de cloro combinado participan en diversas reacciones con compuestos orgánicos para generar productos clorados. El cloro que permanece en agua después de un tratamiento se denomina cloro residual. El conjunto de cloro libre y cloro combinado se nombra como cloro residual total (TRC total residual chlorine). La medida de TRC se considera suficiente para definir la toxicidad sobre los organismos acuáticos de agua dulce. El ión cloruro se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente, generalmente en forma de cloruro sódico, potásico o cálcico. El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que comunican al agua. Son también susceptibles de ocasionar una corrosión en las canalizaciones y en los depósitos, en particular para los elementos de acero inoxidable.

Metales Bajo este epígrafe se agrupan los compuestos constituidos por los diferentes elementos metálicos, por lo cual las características de los mismos dependen, entre otros factores, del metal que esté incorporado. Desde la perspectiva de los potenciales efectos que pueden generar, quizás los de mayor importancia son los compuestos de mercurio y de cadmio. El mercurio puede formar numerosas especies, algunas con una apreciable solubilidad mientras que otras son bastante insolubles. La concentración de mercurio en medios acuosos es relativamente pequeña, encontrándose normalmente unido a materia particulada y al sedimento. El mercurio presenta una elevada toxicidad potencial, principalmente como consecuencia de los procesos de bioacumulación. En las aguas naturales el cadmio se encuentra normalmente en la forma divalente, formando compuestos orgánicos e inorgánicos, principalmente como ión libre, cloruros y carbonatos. Los carbonatos, sulfuros, e hidróxidos de cadmio presentan una baja solubilidad en agua, mientras que la solubilidad del ión cadmio disminuye con el incremento de pH porque se favorece la formación del hidróxido. El cadmio presenta una toxicidad elevada con efecto acumulativo.

1.1.4.4. Cobre y Hierro

Representa los metales presentes en el agua principalmente generados por la corrosión de las cañerías.

1.1.4.5. Sílice, Magnesio, Dureza y Alcalinidad

Representan las sales principalmente de carbonato de calcio y magnesio y de sílice presentes en el agua que son las causantes de las incrustaciones en el sistema

1.1.5. Normas

No existe una norma específica para el uso del agua en refrigeración, pero sí para el agua potable y los requisitos de calidad del agua para diferentes usos, riego, recreación y vida acuática.

El agua potable no debe contener más de 2 mg/l de cobre, 0,3 mg/l de Hierro, 125 mg/l de Magnesio, el pH debe estar entre 6,5 y 8,5, los cloruros deben ser menor a 400 ppm y los sólidos disueltos totales menor a 1500. [6]

Para el agua de riego el pH se debe mantener entre 5,5 y 9,0, el cobre máximo en 0,20 mg/L y el hierro máximo 5 mg/l. El agua de riego se clasifica según su salinidad.

Tabla 1-1. Clasificación de aguas para riego según su salinidad

Clasificación	Conductividad específica, c, μ mhos/cm a 25oC	Sólidos disueltos totales, s, mg/l a 105oC
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1\ 500$	$500 < s \leq 1\ 000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1\ 500 < c \leq 3\ 000$	$1\ 000 < s \leq 2\ 000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3\ 000 < c \leq 7\ 500$	$2\ 000 < s \leq 5\ 000$

Fuente: Norma Chilena NCh1333 Tabla 2.

Los requisitos del agua para recreación con contacto directo son principalmente el pH entre 6,5 y 8,3 en ningún caso menor a 5 o mayor a 9.
Para la vida acuática el Ph debe estar entre 6,0 -9,0 y la alcalinidad total mínimo 20 mg/l. [7]

Capítulo 2: Parte Experimental

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El estudio consiste en realizar análisis de 11 parámetros en muestras de aguas de pozo y potable tratadas por los equipos SRS para verificar si independiente del tipo de agua de ingreso se pueden mantener los parámetros físico químicos que se obtendrían con un tratamiento con químicos pero sin estos.

2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

2.2.1. Equipos

- Fotómetro, hanna instruments HI 8330
- Potenciómetro, hanna instrumento HI 9999

2.2.2. Materiales

- Micropipeta Brand (100-1000 µL)
- Agitador Magnético
- Celdas fotométricas 10 ml
- Material usual de laboratorio

2.3. REACTIVOS Y SOLUCIONES

Reactivos certificados hanna definidos para cada análisis.

- Reactivo de Cloro total, Hanna instruments, HI93711-01.
- Reactivo alta gama de cobre, Hanna instruments, HI93702-01.
- Reactivo alta gama de hierro, Hanna instruments, HI93721-01.
- Reactivo de magnesio A, Hanna instruments, HI93752A-MG.
- Reactivo de magnesio B, Hanna instruments, HI93752B-MG.
- Reactivo de Silice A, Hanna instruments, HI96770A-0.
- Reactivo de Silice B, Hanna instruments, HI96770B-0.
- Reactivo de Silice C, Hanna instruments, HI96770C-0.
- Reactivo de alcalinidad, Hanna Instruments, HI 755S.
- Reactivo indicador de dureza, Hanna Instruments, HI93735IND-0.
- Reactivo de dureza A, Hanna Instruments, HI93735A-MR.

- Reactivo de dureza B, Hanna Instruments, HI93735B-0.
- Reactivo de fijación dureza, Hanna Instruments, HI93735C-0.

2.4. PROCEDIMIENTO

2.4.1. Toma de muestras

En primer lugar se debe rotular el frasco donde se tomara la muestra indicando el lugar la fecha y hora de la toma de muestra, en el caso de una cañería se abre la llave y se deja correr el agua entre 1 a dos minutos antes de tomar la muestra para evitar que sedimentos que puedan estar decantados en la cañería interfieran en la muestra y para asegurar que el agua a tomar sea representativa del proceso, posteriormente de debe ambientar 3 veces el frasco, es decir, tomar 3 veces aguas y botarla antes de quedarse con la definitiva, si es agua del interior de una piscina, se debe tomar lo mas central posible y con movimiento circular en contra de la dirección del caudal del agua. Finalmente cerrar frasco y llevar a cooler para mantenerlos durante el trayecto a ser analizados alrededor de 7°C.

2.4.2. Potenciometro

Para leer el pH se debe conectar el electrodo de pH y seleccionar modo pH. Sacar el electrodo de su solución de mantención, rellenar el electrodo de ser necesario y lavar con agua destilada, secar con pañuelos sin pelusa, sin frotar. Cuando la lectura del electrodo se estabilice, ese será el valor representativo.

Para medir la conductividad se debe conectar el electrodo de conductividad y seleccionar el modo mV en la pantalla del equipo, se retira la goma de protección, lavar con agua destilada, secar con pañuelos sin pelusa, sin frotar. Sumergir el electrodo en la solución a medir cuando la lectura se estabilice, ese será el valor representativo.

Para medir el Ion selectivo o ISE, conectar el electrodo ISE, seleccionar modo ISE y verificar que este corresponda a cloruros, sacar la tapa de protección, lavar con agua destilada y secar con pañuelos sin pelusa, sin frotar, sumergir el electrodo en la solución a medir cuando la lectura se estabilice, ese será el valor representativo

2.4.3. Fotometro

CLORO: Tome 10 ml muestra problema, lleve a cero, añada 1 sobre reactivo cloro HI93711-01, Agite por 20 segundos, ponga el reloj por el tiempo indicado y pulse leer.

COBRE: Tome 10 ml muestra problema, lleve a cero, añada 1 sobre reactivo Cobre HR HI93702-01, Agite por 15 segundos, ponga el reloj por el tiempo indicado y pulse leer. Re

HIERRO: Tome 10 ml muestra problema, lleve a cero, añada 1 sobre reactivo Hierro HR HI93721-01, Disuelva, ponga el reloj por el tiempo indicado y pulse leer.

SILICE: Tome 10 ml muestra problema, lleve a cero, añada 1 sobre reactivo A HI96770A-0 más un sobre de reactivo B HI96770B-0, Agite, ponga el reloj por el tiempo indicado y añada Reactivo C HI96770C-0, presione continuar por 2 minutos y pulse leer.

ALCALINIDAD: Tome 10 ml muestra problema, lleve a cero, añada 1 ml reactivo Alcalinidad HI 755S, Agite 5 veces y pulse leer.

MAGNESIO: Añadir 1 ml reactivo A HI93752A-MG y aforar con reactivo B HI93752B-MG, agitar y medir cero, luego añadir 0,5ml de muestra problema, agite, ponga el reloj por el tiempo indicado y pulse leer.

DUREZA: Tome 0,5 ml muestra problema, añada 0,5 ml de indicador HI93735IND-0, afore con reactivo A HI93735A-MR más 2 gotas de tampón B HI93735B-0, agite 5 veces y lea el cero, luego añada 1 sobre de reactivo C HI93735C-0 E.D.T.A, agite 20 segundos y pulse leer. [8]

Tabla 2-1. Especificaciones fotometro

	Cl	Cu	Fe	SiO2	Alc.	Mg	Dureza
Rango	0,00 a 5,00mg/L	0,00 a 5,00mg/L	0,00 a 5,00mg/L	0 a 200 mg/L	0 a 500 mg/L	0 a 150 mg/L	200 a 500 mg/L
Resolución	0,01 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L	1 mg/L	1 mg/L	1 mg/L	1 mg/L
Presición	±0,03mg/L ±0.05% de la lectura a 25°C	±0,02mg/L ±4% de la lectura a 25°C	±0,04mg/L ±2% de la lectura a 25°C	± 1 mg / L ± 5% de la lectura a 25 ° C	± 5 mg / L ± 5% de la lectura a 25 ° C	± 5 mg/L ± 3% de la lectura a 25 ° C	± 7 mg / L ± 3% de la lectura a 25 ° C
Fuente de luz	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @525nm	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @575nm	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @525nm	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @466nm	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @610nm	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @466nm	LED con filtro de interferencia de banda estrecha @466nm
Método	Adaptación del método EPA DPC 330.s	Adaptación del método EPA	Adaptación del método EPA Phenalthroline 315B, para aguas naturales y tratadas	Adaptación del Método 370.1 de la USEPA para beber, superficial y salino. Aguas, desechos	Colorimétrico Método.	Adaptación del método Calmagite. 2+	Adaptación del método recomendado por la EPA 130.1.

				domésticos e industriales y Método Estándar 4500-SiO2			
--	--	--	--	---	--	--	--

Fuente: Manual fotometro Hanna instruments.

2.5. **EXPRESIONES DE CALCULO**

2.5.1.1. Desviación estándar

$$S=\sqrt{\frac{\sum(X_i-\bar{x})^2}{n-1}}$$

2.5.1.2. Media aritmética

$$\bar{x}=\frac{\sum X_i}{n}$$

2.5.1.3. Media Geometrica

$$MG=\sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \cdots x_n}$$

2.6. **RESULTADOS**

Tabla 2-2. Resultados del agua de make up de central termica con agua potable.

Fecha	pH	Dureza	Alc.	Conduct.	Fe	Mg	Cu	Cl	Cl ⁻	SiO ₂	TDS
13-02-2017	8,04	381	89	1150	0	16	0,05	0,64	295	12	575
06-07-2017	7,92	365	0	1330	0	23	0,03	0,62	215	12	654,4
09-08-2017	7,75	372	0	1530	0	20	0,04	0,56	530	12	764,2
20-09-2017	7,97	387	0	1506	0	23	0,02	0,49	307	11	753
12-10-2017	7,55	357	0	1236	0,01	20	0,06	0,63	214	14	617,8
16-11-2017	7,85	364	0	945,5	0	15	0,01	0,52	156	10	473

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2-3. Resultados del agua de recirculación de central termica con agua potable.

Fecha	pH	Dureza	Alc.	Conduct.	Fe	Mg	Cu	Cl	Cl ⁻	SiO ₂	TDS
13-02-2017	8,18	398	79	4374	0	77	0,29	0,15	1620	45	2187
13-02-2017	7,87	438	82	3979	0	65	0,08	0,16	1170	40	1989
13-02-2017	7,92	435	86	4464	0	78	0,28	0,06	1350	44	2232
06-07-2017	8,05	335	0	4568	0	94	0,06	3,3	1350	41	2284
09-08-2017	8,1	388	0	3181	0,07	51	0,6	0	878	30	1591
20-09-2017	8,15	393	0	4501	0	85	0,05	3,19	1620	39	2251
20-09-2017	8,13	292	0	4372	0	88	0,06	2,3	1560	39	2186
20-09-2017	8,13	296	0	4408	0	87	0,06	3,23	1720	40	2203
12-10-2017	8	437	0	4071	0	72	0,07	1,94	1220	44	2036
12-10-2017	7,75	378	0	4486	0	78	0,09	3,64	1390	50	2241
16-11-2017	8,13	477	0	4437	0	83	0,02	0,12	1630	51	2218

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2-4. Resultados del Agua de Make up de central termica con agua de pozo.

Fecha	pH	Dureza	Alc.	Conduct.	Fe	Mg	Cu	Cl	Cl ⁻	SiO ₂	TDS
18-05-2017	7,64	403	108	1778	0,11	50	0,05	0	340	38	884
15-06-2017	7,58	256	103	1808	0	57	0,06	0,03	330	38	903,8
27-07-2017	7,66	351	106	1843	0	70	0,07	0,06	474	38	920,7
19-10-2017	7,85	217	113	1768	0	55	0,08	0,01	354	40	884
19-12-2017	8	404	105	1830	0	61	0,01	0	313	41	915,1
27-12-2017	8,08	374	109	1824	0,05	55	0	0	146	40	911,4
18-04-2018	7,86	364	108	1720	0,06	60	0	0,04	326	38	860,2
15-05-2018	7,59	365	104	1678	0	50	0	0	331	36	839
23-05-2018	7,53	374	107	1653	0,01	60	0,03	0	321	39	826,4

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2-5. Resultados del Agua de Recirculacion de central termica con agua de pozo

Fecha	pH	Dureza	Alc.	Conduct.	Fe	Mg	Cu	Cl	Cl ⁻	SiO ₂	TDS
18-05-2017	8,49	414	404	4185	0	120	0,32	2	1180	96	2067
18-05-2017	8,54	423	107	3955	0	121	0,22	0,94	110	89	1978
15-06-2017	8,2	372	26	4559	0	150	0,12	1,48	1540	138	2279
15-06-2017	8,28	370	28	4330	0	150	0,06	3,25	1360	129	2165
27-07-2017	8,51	387	111	4220	0,2	150	0,02	5	1540	84	2110
27-07-2017	8,5	337	110	3920	0	150	0,1	4,32	1570	104	1959
19-10-2017	7,98	500	32	3100	0	150	0,12	1,79	835	84	1551
19-10-2017	8,04	500	17	4461	0	150	0,08	3,11	1510	134	2231
19-10-2017	8,22	458	87	4042	0,02	150	0,1	3,98	1330	90	2023
19-12-2017	8,19	471	29	6864	0	105	2,12	0,05	2740	174	3433
27-12-2017	8,08	418	30	6731	0	150	0,99	0	665	44	3366
27-12-2017	8,15	482	20	6792	0	150	2,04	0,1	684	172	3397
27-12-2017	8,26	414	83	2833	0	99	0,02	0	321	67	1417
18-04-2018	7,92	382	99	1834	0	66	0	0,05		46	917
18-04-2018	8,14	392	94	3486	0	150	0,04	2,83		101	1742
15-05-2018	8,49	382	86	3835	0	150	0,02	0		113	1918
15-05-2018	8,52	396	91	3820	0	150	0,01	0,02		110	1910
15-05-2018	8,22	380	36	4058	0	150	0,01	0,02		93	2029
15-05-2018	8,17	390	36	3930	0	150	0,03	0,02		92	1965
23-05-2018	7,6	339	102	2745	0	120	0,01	0,06		76	1373
23-05-2018	7,72	340	97	2743	0	122	0,02	0,07		76	1371

Fuente: Elaborada por el autor.

A continuación, se entrega los datos estadísticos de los análisis realizados a dos centrales terminacas una con agua potable y otra con agua de pozo para verificar si el equipo SRS cumple con el tratamiento en ambas condiciones de calidad de agua.

Tabla 2-6. Estadísticos del agua de make up de central termica con agua potable.

Make up	$\bar{x}$	M.G	s
pH	7,85	7,85	0,18
Dureza	371	371	11,30
Alcalinidad	15	-	36,33
Conduct.	1283	1266	222,15
Hierro	0	-	0
Magnesio	19	19	3,39
Cobre	0,04	0,03	0,02
Cloro	0,58	0,57	0,06
Cloruros	286	265	132,05
Sílice	12	12	1,33
TDS	639	631	110,46

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2-7. Estadísticos del agua de recirculación de central termica con agua potable.

Recirculación	$\bar{x}$	M.G	s
pH	8,04	8,04	0,14
Dureza	388	383	59,79
Alcalinidad	22	-	38,49
Conduct.	4258	4239	400,41
Hierro	0,01	-	0,02
Magnesio	78	77	12
Cobre	0,15	0,09	0,17
Cloro	1,64	-	1,55
Cloruros	1410	1386	252,89
Sílice	42	42	5,77
TDS	2129	2119	199.91

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2-8. Estadísticos del Agua de Make up de central termica con agua de pozo.

Make up	$\bar{x}$	M.G	s
pH	7,75	7,75	0,20
Dureza	345,33	338,92	64,83
Alcalinidad	107,00	106,96	3
Conduct.	1766,89	1765,68	68,85
Hierro	0,03	#iNUM!	0,04

Magnesio	58	57	6,19
Cobre	0,03	-	0,03
Cloro	0,02	-	0,02
Cloruros	326,17	308,40	175,27
Sílice	38,67	38,64	1,5
TDS	794,33	683,01	266,9

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2-9. Estadísticos del Agua de Recirculacion de central termica con agua de pozo

Recirculación	$\bar{x}$	M.G	s
pH	8,20	8,20	0,26
Dureza	407,00	404,18	49,86
Alcalinidad	82,14	60,32	81,69
Conduct.	4116,33	3929,08	1308,61
Hierro	0,01	-	0,04
Magnesio	136	133	23,35
Cobre	0,31	-	0,63
Cloro	1,39	-	1,70
Cloruros	1183,46	938,96	791,32
Sílice	100,57	94,98	34,30
TDS	2057,19	1963,60	654,47

Fuente: Elaborada por el autor.

2.7. **DISCUSIÓN**

El uso de electrolisis para controlar la corrosión, prevenir incrustaciones (carbonato de calcio y/o magnesio) y generar desinfectantes a partir del agua, permite evitar el uso de métodos tradicionales; los cuales son costosos, peligrosos y poco eficientes. Como la adición de inhibidores de corrosión, tratamientos con ácido sulfúrico para reducir la formación de carbonatos, la utilización de biocidas dañinos para la salud de las personas que lo manipulen y el medio ambiente, la adición de secuestrantes o dispersantes que permiten la modificación de la estructura cristalina de los carbonatos para que precipiten, formando lodos que puedan ser removidos por purga. Es por esto que la aplicación de la tecnología SRS la cual tiene como base el uso de electrolisis del agua es muy conveniente, a través de ella se logra el objetivo de evitar la corrosión, las incrustaciones, permitiendo además la desinfección permanente del agua, sin la adición de químicos peligrosos. Con la tecnología SRS los carbonatos precipitan dentro del equipo, posteriormente son eliminados mediante un retrolavado para quedar en el filtro de arena; adicionalmente el uso de esta tecnología permite el ahorro de agua, ya que se puede trabajar a una conductividad eléctrica mayor que los tratamientos convencionales. La totalidad de los resultados obtenidos dan similar en promedio y media geométrica lo que quiere decir que los valores son constantes en el tiempo, los TDS se mantienen en promedio bajo los 2500 ppm de sólidos totales disueltos lo que indica que no están propensos a causar corrosión, el sílice se mantiene en promedio menor a 120 mg/l lo que indica que el comportamiento del equipo es a no generar corrosión, sin embargo hay ocasiones donde el sílice supera los 120 mg/l en primer lugar por provenir de agua de pozo y segundo por el aumento de la conductividad sobre los 5000 mS/cm. Para que el agua que sale de los equipos pudiera considerarse potable los cloruros y el total de sólidos deberían ser menores ya que el pH, el hierro, el cobre y el magnesio cumplen con los requisitos establecidos en la norma chilena NCh 409. El agua que sale de los equipos puede ser utilizada para riego de plantas tolerantes en suelos permeables por la conductividad (4258 y 4116), ya que cumple con el pH mayor que 5,5 y menor a 9,0, con el cobre menor a 0,20 y el hierro menor a 5 mg/l establecidos en la norma NCh 133, el agua de la salida de los equipos podría ser utilizada exitosamente para agua de recreación con contacto directo y para la vida acuática ya que solo se considera pH menor a 8,3 y 9,0 respectivamente. Los equipos SRS cumplen con la función de reemplazar un tratamiento químico del agua, pero no el de reemplazar un sistema de ablandadores de agua, ya que evita que se produzcan algas debido a que produce constantemente cloro activo, evita también la corrosión de los sistemas siempre y cuando la conductividad se mantenga bajo los 6000 µS/cm ya que sobre ese nivel es mucho el cloro producido y este genera corrosión al ser HClO y acidificar el medio, si se controla la conductividad hasta 5000 µS/cm no habrá problemas ya que el cloro producido no interferirá y predominará el ambiente alcalino producido por la electrólisis del agua y del cloruro de sodio presente natural en el agua que además de producción de cloro con HClO produce NaOH que da el medio

alcalino el cual se comprueba ya que en cada análisis el agua entra alrededor del pH 7 y aumenta siempre a pH 8, esto se puede lograr manteniendo la purga controlada. No cumple con la función de un ablandador de agua ya que no reduce la conductividad al contrario concentra lo mayor posible ya que va eliminando de manera constante como si fuera una diálisis pequeñas cantidades de Ca, Mg y Si que se precipitan en el equipo quedando retenidas en el filtro de arena, por lo que es necesario que esta se cambie cada cierto tiempo. La promesa de que no se generen incrustaciones en el sistema es un poco mas compleja de evaluar ya que al evaluar los resultados de los análisis de dureza, alcalinidad, magnesio y sílice estas tiende a aumentar principalmente por que se esta concentrando el agua, y segundo por que si quedaran depositadas en el sistema deberían salir menor cantidad ya que al estar en forma de incrustación por ende de manera de precipitado no se reflejarían en el análisis. Por lo que se puede determinar que cumple la función, sin embargo debido a que el agua de Chile es muy dura de igual manera de forma visual se ve un leve polvo blaquesino en el interior de las torres pero por la diferencias de temperatura o eficiencia de los equipos no se evidencia una disminución del intercambio de calor lo que también indica que el equipo SRS cumple su función.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema SRS logra un comportamiento estable del agua en las torres de enfriamiento al mantener controlada la conductividad eléctrica en valores que no superen los 5000 uS/cm ya sea se trate de agua potable o de pozo.

Este equipo permite reemplazar los tratamientos convencionales empleados para mantener los sistemas de refrigeración libres de incrustaciones, proliferación de algas y corrosión.

La utilización del sistema SRS presenta múltiples ventajas respecto de los sistemas convencionales como:

1. Reemplaza el uso de ácidos y/o biocidas nocivos para el ser humano y el medio ambiente.
2. Permite la reutilización del agua de purga tanto en la vida acuática como en el riego de plantas tolerantes en suelos permeables, además de otros usos como el lavado dentro de una planta y riego de superficies que presenten polvo en suspensión por ejemplo caminos.
3. Como no requiere el uso de productos químicos, reduce los riesgos de operación, las horas de trabajo y el uso de lugares para almacenamiento de ácidos.

Esta tecnología permite una mayor eficiencia en el uso de un recurso escaso hoy en día como es el agua, vital para la vida humana y el equilibrio del ecosistema aportando con ello en el cuidado del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. La importancia del agua para la vida. [en línea]. <<https://www.swimtonictech.com/es/2018/03/22/la-importancia-del-agua-la-vida/>>[consulta: 03 de mayo de 2018]
2. CQM [en línea]. <<https://www.cqm-tech.com>>[consulta: 10 de octubre de 2017]
3. La química del agua por Luis Concha Valenzuela. [en línea]. <[http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/File/la quimica del agua.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/File/la_quimica_del_agua.pdf)>[consulta: 15 de mayo de 2018]
4. Usos del agua en las industrias. [en línea]. <<https://www.aquamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3051&termino=usos+del+agua+en+las+industrias>>[consulta: 13 de septiembre de 2017]
5. Tecnología y servicios industriales 1. Tratamiento de agua de sistema de enfriamiento. Daniel Ghislieri. Instituto de Ingeniería Química, Tecnología y servicios industriales. [en línea]. <<https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/repart/qica1/Aguaenfr.pdf>>[consulta: 13 de septiembre de 2017]
6. Norma Chilena Agua Potable NCh409/1.Of2005. [en línea]. <<https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>> [Consulta: 27 julio de 2017]
7. Norma Chilena Riego NCh1333.Of78 requisitos de calidad del agua para diferentes usos. [en línea].<[https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978 Mod-1987.pdf](https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf)>[consulta: 13 de mayo de 2018]

