



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN PARA TORRES DE
ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA
CONAL DE LA EMPRESA ALCAVE
VENEZUELA C.C.A.**

Autor:

Roberto Manuel Da Graca Fernández

C.I.: V-18.701.223

Urb. Yuma II, Calle N.º 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TORRES DE
ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA CONAL DE LA EMPRESA ALCAVE
VENEZUELA C.C.A.**

Empresa: Planta Conal, Alcave Venezuela C.C.A, Los Guayos, Edo. Carabobo.

Autor:

Roberto Manuel Da Graca Fernández

C.I.: V-18.701.223

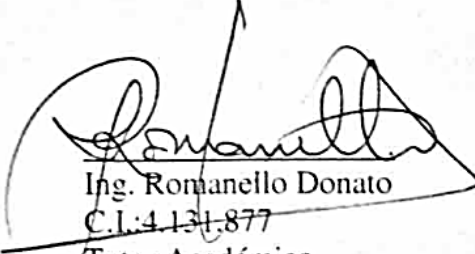
San Diego, junio de 2017




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TORRES DE
ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA CONAL DE LA EMPRESA ALCAVE
VENEZUELA C.C.A.**

CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN



Ing. Romanello Donato
C.I.: 4.131.877
Tutor Académico

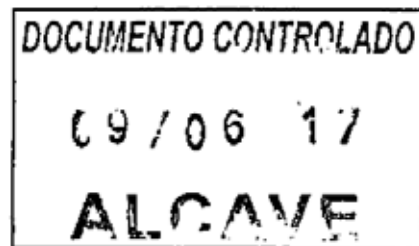


Ing. Pérez Carlos
C.I.: 17.614.944
Tutor Empresarial



Autor:

Roberto Manuel Da Graca Fernández
C.I.: V-18.701.223



San Diego, junio de 2017

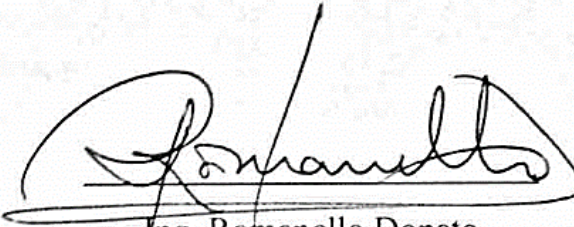


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Donato Romanello portador de la cedula de identidad N° 4.131.877, en mi carácter de tutor de trabajo de grado presentado por el ciudadano Roberto Da Graca portador de la cedula de identidad N.º 18.701.223, titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TORRES DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA CONAL DE LA EMPRESA ALCAVE VENEZUELA C.C.A.** Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, mes de junio del año dos mil diecisiete.



Ingeniero Donato Romanello
C.I.: 4.131.877

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	.....	ix
INDICE DE FIGURAS	.....	x
RESUMEN	.....	xii
INTRODUCCION	.....	xiii

CAPITULO

I LA EMPRESA

1.1 Identificación de la empresa	.....	1
1.2 Actividad Económica	.....	1
1.3 Antecedentes de la Empresa	.....	2
1.4 Operaciones de Manufactura y Servicios	.....	2
1.5 Visión	.....	3
1.6 Misión	.....	3
1.7 Política del sistema de gestión integrado	.....	3
1.8 Estructura Organizativa de Alcave	.....	4
1.9 Área de Trabajo	.....	5

II EL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema	.....	6
2.2 Formulación del problema	.....	19
2.3 Objetivos de la investigación	.....	19
2.3.1 Objetivo general	.....	19
2.3.2 Objetivos específicos	.....	19
2.4 Justificación	.....	20
2.5 Alcance	.....	20
2.6 Limitaciones del estudio	.....	20

III MARCO TEORICO

3.1 Antecedentes	21
3.2 Base teórica	23
3.2.1 Torres de enfriamiento	23
3.2.2 Clasificación de las torres de enfriamiento	24
3.2.2.1 Torres de circulación natural	24
3.2.2.2 Torres de tiro mecánico	25
3.2.3 Temperatura de bulbo húmedo	28
3.2.4 Aproximación de temperatura	28
3.2.5 Ciclos de concentración y purga	29
3.2.6 Tratamiento del agua para torres de enfriamiento.....	30
3.2.7 Estabilidad del agua	30
3.2.8 Índice de estabilidad o IRS	30
3.2.9 Propiedades del agua	31
3.2.9.1 Conductividad – Solidos disueltos	31
3.2.9.2 pH	31
3.2.9.3 Alcalinidad	32
3.2.9.4 Dureza	32
3.2.9.5 Turbidez y solidos suspendidos	32
3.2.9.6 Gases disueltos	33
3.2.9.7 Silice	33
3.2.9.8 Sulfatos y cloruros	33
3.2.10 Suavización del agua	34
3.2.11 Intercambio iónico	35
3.2.12 Principio de funcionamiento del suavizador de agua	36
3.2.13 Corrosión en sistemas de enfriamiento	37
3.2.14 Procesos de corrosión	37
3.2.15 Velocidad de corrosión	39

3.2.16 Tipos de corrosión	39
3.2.16.1 Corrosión generalizada	39
3.2.16.2 Corrosión localizada (picadura o pitting)	40
3.2.16.3 Corrosión galvánica	41
3.2.16.4 Fractura por tensión	41
3.2.16.5 Fractura por fatiga	42
3.2.16.6 Tuberculación	43
3.2.16.7 Remoción selectiva o lixiviación selectiva	43
3.2.16.8 Erosión – Corrosión	44
3.2.16.9 Celdas de concentración diferencial	45
3.3 Definición de términos básicos	45
3.3.1 Biocidas	45
3.3.2 Ppm	45
3.3.3 Solubilidad	46
3.3.4 Ion	46
3.3.5 Efluente	46
3.3.6 Salmuera	46
IV MARCO METODOLOGICO	
4.1 Tipo de investigación	48
4.2 Diseño de la investigación	48
V RESULTADOS	
5.1 Diagnóstico de las condiciones actuales de la torre de enfriamiento marca Baltimore, en la empresa Alcave, planta Conal	51
5.1.1 Características y capacidad instalada de la torre de enfriamiento Baltimore modelo VT1 1018-03L	51
5.1.2 Eficiencia actual de la torre VT1 1018-03L	53
5.1.3 Requerimiento de eficiencia de torre VT1 1018-03L	54

5.2 Estudio y análisis de las propiedades del agua	54
5.2.1 Propiedades del agua requeridas para la torre de enfriamiento.....	55
5.2.2 Propiedades actuales del agua de enfriamiento en la planta Conal.....	56
5.2.3 Estudio del procedimiento de trabajo del sistema de suavizadores.....	56
5.2.4 Rutina a seguir por el operador de los suavizadores	65
5.3 Evaluación del material de construcción de la torre de enfriamiento.....	65
5.4 Planteamiento de una alternativa de solución sustentada en el estudio técnico.....	70
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	75
RECOMENDACIONES PARA LA EMPRESA	76
BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS.	
A: Lista de componentes de las torres de enfriamiento modelos VT0/1 ...	80
B: Prestaciones torre de enfriamiento VT0-1 en condiciones estándar	81
C: Norma ASTM A123	83
D: Norma ASTM A153	84
E: Programa recomendado de mantenimiento y supervisión	85

INDICE DE TABLAS

Tabla

1	Calidad del agua en función del IRS	31
2	Datos técnicos de las torres de enfriamiento del tipo VT1 1018	53
3	Recomendaciones de calidad de agua en recirculación para sistema de protección híbrido Baltibond	53
4	Resultados del agua suavizada en la planta Conal	56
5	Espesor de zinc según norma ASTM A123/A 123M-09	68

INDICE DE FIGURAS

Figura

1	Ubicación Alcave C.C.A planta aluminio	1
2	Organigrama de Alcave	4
3	Horno de fundición de aluminio	7
4	Cuerpo de trefilación	8
5	Túnel de enfriamiento y recogedores	8
6	Torres de enfriamiento de Alcave planta Conal	9
7	Torre de enfriamiento de fibra de vidrio de mayor capacidad	9
8	Torre de enfriamiento de fibra de vidrio de menor capacidad	10
9	Esquema del proceso de tratamiento de agua	12
10	Torre de enfriamiento marca Baltimore de Alcave planta Conal	13
11	Corrosión por picadura en paneles, turbinas y poleas	14
12	Corrosión microbiológica en tuberías sumergidas y concentradoras de humedad.	14
13	Corrosión atmosférica.....	15
14	Corrosión galvánica.....	15
15	Paleta con sacos de sal marina	16
16	Tanque de salmuera destapado	17
17	Deterioro en estructura de la zona de tratamiento de agua	18
18	Válvulas de cierre rápido oxidadas	18
19	Esquema torre de circulación natural	25
20	Esquema torre de tiro inducido	26
21	Esquema torre de flujo cruzado	26
22	Torre de Enfriamiento de Tiro Forzado.....	27
23	Esferas de gel sintético llamadas también resina de intercambio iónico ..	35
24	Esquema de intercambio iónico	37

25	Ejemplo de corrosión generalizada	40
26	Ejemplo de corrosión por picadura	40
27	Ejemplo de corrosión galvánica.....	41
28	Ejemplo de corrosión con fractura por tensión	42
29	Ejemplo de corrosión con fractura por fatiga	42
30	Ejemplo de tuberculación	43
31	Ejemplo de lixiviación selectiva	44
32	Ejemplo de corrosión – erosión	45
33	Torre de enfriamiento modelo VT1 1018-XXX	52
34	Microestructura de un recubrimiento galvanizado	67
35	Gráfico de tiempo de servicio promedio según espesor de zinc y tipo de atmosfera	69

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TORRES DE
ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA CONAL DE LA EMPRESA ALCAVE
VENEZUELA C.C.A.**

Autor: Roberto Da Graca

Tutor: Ing. Donato Romanello

Fecha: Enero, 2017

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de protección para la torre de enfriamiento de la planta Conal de la empresa Alcave Venezuela C.C.A, con el fin de disminuir la velocidad de corrosión en la torre y mejorar el funcionamiento de la misma. Se realizó una evaluación de las condiciones de la torre de enfriamiento y los componentes vecinos mediante el método de la observación directa y la entrevista al personal, donde quedaron expuestos los diferentes tipos de corrosión presentes. Adicionalmente se expuso las características originales de la torre junto a la eficiencia que suministraba en buenas condiciones y se comparó con el rendimiento actual de la misma, obtenida mediante cálculos. Posteriormente se procedió a realizar un análisis comparativo de las propiedades del agua que tolera los materiales de la torre, suministrados por los manuales de la marca Baltimore, y las propiedades del agua utilizados en la empresa, resultado de unos exámenes químicos realizados por una empresa contratada. Esta comparación entre propiedades del agua, arroja un satisfactorio resultado al comprobar que el agua utilizada se encuentra dentro de los parámetros establecidos. Luego, se realizó el estudio de los materiales de la torre. Al no conocer el material exacto con el que están fabricados los elementos, se analizó las características generales con las que cuentan los aceros galvanizados por inmersión en caliente bajo las normas internacionales ASTM A123 y A153, que son por las cuales Baltimore se rige para la fabricación de sus productos. Esto comprobó la calidad y alta durabilidad que presentan las torres Baltimore bajo las condiciones establecidas. El análisis de todos estos factores, conllevan a la conclusión de que la mejor alternativa de solución es el cumplimiento de los debidos procesos con los que la empresa cuenta, pero no realizan con la continuidad que amerita.

Descriptor: Diseño, torres de enfriamiento, tratamiento de agua, propiedades de los materiales, corrosión.

INTRODUCCIÓN

En las industrias, a menudo se trabaja con procesos de fabricación los cuales suelen originar altas temperaturas debido al intercambio energético que pueda existir en cada uno de ellos. En la búsqueda de la eficiencia en los procesos, muchas veces es necesario disminuir esas altas temperaturas para conseguir mejores resultados y es ahí cuando se acude a mecanismos para el intercambio de calor.

El agua, desde hace mucho tiempo, es utilizada como principal extractor de calor en las industrias, siendo aplicada a procesos o componentes a los cuales se les desea bajar la temperatura y cediéndosela al agua. Cuando sale el agua caliente del proceso, es necesario enfriarla nuevamente para que se pueda reutilizar, es ahí donde contamos con las torres de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento son equipos que se emplean para enfriar agua en grandes volúmenes, siendo el medio más económico para hacerlo en comparación con otros equipos. Para muchos sectores industriales, las torres de enfriamiento juegan un papel muy importante en los procesos de sus principales actividades económicas. Por esta razón, el informe de pasantía al que se está haciendo preámbulo, está enfocado en conseguir un diseño de protección anticorrosivo para la torre de enfriamiento de mayor capacidad de la planta Conal de Alcave Venezuela C.C.A. Esto debido a que, por muchos años, se ha descuidado el mantenimiento general de la misma, ocasionando un muy rápido deterioro de los componentes por culpa de los efectos de la corrosión.

Debido a lo mencionado anteriormente, se convierte en una necesidad realizar la evaluación de la torre de enfriamiento y también a los componentes vecinos, así como a todo lo relacionado con proceso de enfriamiento en busca de encontrar posibles causas y luego poder plantear soluciones al problema.

La investigación se realiza de manera organizada con la finalidad de presentar todos los aspectos importantes que abarca el problema. Por esta razón dividimos esta primera etapa de la investigación en cinco capítulos.

En el primer capítulo se presenta la empresa Alcave Venezuela C.C.A que es donde se desarrolló el trabajo de pasantía. Ahí se exponen datos como la ubicación, la actividad económica, los antecedentes, los servicios que presta y operaciones de manufactura, visión, misión, la política del sistema de gestión integrada y su estructura organizativa.

En un segundo capítulo, se presenta de forma más detallada lo que es el problema, que vendría siendo el motivo de esta investigación. Explicando el proceso productivo y los sectores donde se aplica el agua como extractor de calor. Redactando como se encuentran ubicadas las torres de enfriamiento y enfocando el capítulo en detallar como se observa la degradación en la principal torre de marca Baltimore. Además, se puede encontrar los objetivos de la investigación, la justificación, el alcance y las limitaciones a la hora de realizar el estudio.

El tercer capítulo presenta las bases teóricas en las que se basa este trabajo de pasantías, desarrollando temas que servirán para el análisis, elaboración de planteamientos y posibles soluciones.

Posteriormente se explica la metodología a seguir para el cumplimiento de todos los objetivos según el tipo y nivel de investigación, componiendo así el cuarto capítulo.

Y un último capítulo donde se expone y analizan los resultados de la investigación para luego dar paso a las conclusiones y recomendaciones pertinentes para alcanzar la protección necesaria en la torre de enfriamiento.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Identificación de la Empresa

Alambres y Cables Venezolanos Compañía en Comandita Anónima (Alcave C.C.A.) ubicada en la Carretera Nacional Valencia, vía Los Guayos, Estado Carabobo. (Ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación Alcave C.C.A planta aluminio.

Fuente: Google Maps, 2.016

1.2 Actividad Económica

Fábrica de Conductores Eléctricos.

1.3 Antecedentes de la Empresa

Alcave Venezuela, C.C.A., fue la primera empresa industrial establecida en Venezuela para la fabricación de alambres y Cables. Fundada el 7 de octubre de 1954 bajo la razón social “FIAT LUX, C.A.” se dedica a la fabricación de alambres de uso eléctrico, destinados a edificaciones; aumentando así la necesidad del país en diversos rubros de la producción.

El 12 de abril de 1957, FIAT LUX, C.A. decide asociarse con una empresa norteamericana, “Phelps Dodge International Corporation” (PDIC), corporación constituida por más de catorce empresas manufactureras de cables de potencia y telefónicos, en distintos países del mundo. Con esta sociedad, pasa FIAT LUX, C.A. a denominarse Alcave C.C.A. (Alambres y Cables Venezolanos, C.C.A.).

En 1961 fue creada “Iconel”, dedicada a la fabricación de cables desnudos de cobre. En 1993 PDIC compra las empresas Iconel, Conal y Plástica como unidad de negocios dedicada a cables de potencia, conductores de aluminio y línea comercial.

A partir de diciembre de 1999 las plantas venezolanas se fusionan bajo el nombre de Alcave C.C.A.

PDIC fue adquirido por Freeport, como parte de la adquisición de Phelps Dodge Corporation en marzo de 2007, y en septiembre del mismo año General Cable Corporation adquiere el mundial de cables y alambres de negocios de Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc., para ampliar su liderato global en el desarrollo, diseño, fabricación, comercialización y distribución de cobre, aluminio y cable de fibra óptica y cable para los productos energéticos, industriales y mercados de comunicaciones.

1.4 Operaciones de Manufactura y Servicios

ALCAVE VENEZUELA, C.C.A. se dedica a la fabricación y distribución de conductores eléctricos para la industria del petróleo, la construcción, la petroquímica y de distribución de energía eléctrica. En su proceso son empleadas materias primas variadas, consistiendo su principal operación en laminar alambrón de aluminio en distintas aleaciones, trefilar alambrón tanto de aluminio como de cobre hasta reducirlo

a los diámetros apropiados, reunir diferentes hilos así maquinados y conformar, mediante cableado o reunido, conductores eléctricos de geometrías, diámetros y flexibilidades variadas. Estos conjuntos son aislados mediante la extrusión de una capa externa y, si fuese requerido, nuevamente reunidos y aislados hasta conformar el producto final.

1.5 Visión

- § Dar valor a los clientes y aumentar las ventas.
- § Establecer precios efectivos para los productos y servicios.
- § Apalancar la posición geográfica de mercado.
- § Demostrar excelencia operacional en todo lo que hace.
- § Aumentar la cobertura de mercado a través de crecimiento orgánico y adquisiciones.

1.6 Misión

Ser la compañía de cables y alambres más admirada y exitosa en el mundo y operar en todas las áreas geográficas.

1.7 Política del sistema de gestión integrado

Alcave Venezuela C.C.A cuenta con un sistema de gestión integrado que ha sido reconocido y certificado por Bureau Veritas Quality International, según la Norma ISO 9001-2000, ISO 14001 y OHSAS 18001., que avala el Diseño, Procesos, Manufactura y Comercialización de Conductores de Cobre y Aluminio en las plantas localizadas en la ciudad de Valencia, Edo. Carabobo.

También cuentan con la marca de conformidad otorgada por el Fondo de Normalización y Certificación de Calidad (Fondonorma). Avalando el cumplimiento continuo, con normas técnicas ante organismos oficiales y clientes en general.

En la Política del Sistema de Gestión Integrado, se expresa el compromiso que Alcave Venezuela C.C.A tiene con la prevención de lesiones y enfermedades, la

satisfacción de los clientes, el cuidado del medio ambiente, el cumplimiento de los requisitos que aplican para contribuir a la mejora y excelencia de la organización.

En Alcave Venezuela, C.C.A., compañía manufacturera de conductores eléctricos, están comprometidos a:

- § Promover un ambiente de trabajo saludable y seguro, con el fin de prevenir lesiones y enfermedades.
- § Promover la mejora continua y eficacia de nuestro Sistema de Gestión Integrado, enfocados en la satisfacción de los clientes.
- § Prevenir la contaminación del medio ambiente.
- § Cumplir los requisitos legales aplicables y otros requisitos que Alcave suscriba.
- § Influenciar el comportamiento y la participación activa de todos los trabajadores para que la seguridad, la calidad y el cuidado del medio ambiente sea el modo de vida dentro y fuera del trabajo

1.8 Estructura Organizativa de Alcave

En la figura 2 podemos detallar el organigrama general de la empresa Alcave.



Figura 2. Organigrama de Alcave

Fuente: Recursos Humanos Alcave (2016)

1.9 Área de Trabajo

El trabajo se llevó a cabo en el departamento de mantenimiento, dicha gerencia se encarga de proporcionar oportuna y eficientemente, los servicios que requiera el centro en materia de mantenimiento preventivo y correctivo a las instalaciones, así como la contratación de servicios externos necesario para el fortalecimiento y desarrollo de las instalaciones físicas de los inmuebles y además el estudio de nuevas técnicas para la preservación de los equipos. La finalidad deriva en:

- § Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes de la central o instalación.
- § Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- § Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.
- § Evitar accidente o incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- § Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- § Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.
- § Llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, con intervalos de control para detectar oportunamente cualquier desgaste o rotura, manteniendo los registros adecuados.
- § Mantener permanentemente los equipos e instalaciones, en su mejor estado para evitar los tiempos de parada que aumentan los costos.
- § Efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto, empleando métodos más fáciles de reparación.
- § Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.
- § Sugerir y proyectar mejoras en la maquinaria y equipos para disminuir las posibilidades de daño y rotura.
- § Controlar el costo directo del mantenimiento mediante el uso correcto y eficiencia del tiempo, materiales, hombres y servicio.

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

Esta etapa se enfoca en exponer de manera detallada y precisa el problema existente en la empresa Alcave Venezuela C.C.A en cuanto al tema de degradación de la principal torre de enfriamiento.

2.1. Planteamiento del problema

Alcave Venezuela C.C.A como es conocida hoy en día, es la primera empresa industrial establecida en Venezuela dedicada a la manufactura de alambres y cables para la construcción. Cuenta con dos sedes, las cuales se diferencian principalmente en la materia prima que utilizan para elaborar sus productos. Conal es la planta encargada de la elaboración de alambres y cables de aluminio, mientras que Iconel utiliza cobre como material base.

El trabajo realizado se llevó a cabo en la planta Conal, donde su principal línea de producción se conoce como SECIM, un conjunto conformado por los hornos de fundición, la rueda de solidificación, el cuerpo de trefilado, el túnel de enfriamiento y el recogedor o recolector. Todos estos elementos se encargan de transformar la materia prima en alambros de aluminio.

El aluminio junto con los diferentes elementos que se añaden para crear la aleación correcta suele fundirse cerca de los 660 °C, sin embargo, los hornos (ver Figura 3) trabajan con una temperatura comprendida entre los 800 y 900 °C.



Figura 3. Horno de fundición de aluminio.

Fuente: Da Graca (2016)

Al trabajar con una temperatura tan elevada, es preciso contar con sistemas de enfriamiento que sean rápidos y eficientes capaces de realizar el proceso de solidificación del aluminio en un tramo corto. Es este el primer punto donde se utiliza el agua para el enfriamiento, aplicándose en forma de duchas que apuntan a una rueda acanalada de cobre-níquel, en la que por su interior pasa el aluminio fundido. Los chorros de agua extraen el calor proveniente del aluminio originando así la solidificación del mismo.

Seguidamente, una vez que sale la barra de aluminio de la rueda colada o rueda de solidificación, empieza un proceso de reducción de diámetro de la barra en un llamado cuerpo de trefilación (ver Figura 4), para luego entrar en el túnel de enfriamiento, donde nuevamente el agua hace protagonismo para la extracción de calor y posteriormente pasar al recogedor (ver Figura 5)



Figura 4. Cuerpo de trefilación.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 5. Túnel de enfriamiento y recogedores.

Fuente: Da Graca (2016)

Al ser el agua el principal elemento encargado de la extracción de calor en el aluminio, es necesario prestarle cierta atención en cuanto a su enfriamiento luego de utilizarse en la línea de proceso. Mientras menor sea la temperatura con la que se introduce el agua al proceso, mayor será la cantidad de calor que extraiga del mismo. Es por esto que en la planta Conal cuenta con 3 torres de enfriamiento (ver Figura 6), de las cuales 2 de ellas fabricadas con fibra de vidrio (ver Figura 7 y Figura 8), y la otra torre, que es la de mayor capacidad y la más eficiente, fabricada con acero galvanizado.

En esta última es donde se encontró el problema que dio inicio al trabajo de análisis e investigación.



Figura 6. Torres de enfriamiento de Alcave planta Conal.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 7. Torre de enfriamiento de mayor capacidad entre las de fibra de vidrio.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 8. Torre de enfriamiento de fibra de vidrio de menor capacidad.

Fuente: Da Graca (2016)

La fuente de donde se obtiene el agua para toda la planta es un pozo profundo que absorbe el líquido de diversas venas de agua que pasan por debajo del terreno donde está ubicada la empresa. Al ser la misma tierra quien provee el fluido, este viene acompañado de sales y minerales que no son convenientes en nuestro proceso de enfriamiento. A esta condición del agua, se le denomina agua dura y suele ser perjudicial en el uso doméstico, agrícola e industrial, por lo que, antes de ser utilizada en las líneas de proceso, son tratadas bajo ciertas especificaciones dictadas por personal contratado experto en el tema.

El agua es extraída del pozo profundo y dirigida a un tanque subterráneo que a su vez suministra al tanque principal de la empresa, un tanque elevado. De allí, por medio de tuberías e impulsado por la gravedad, el agua es dirigida al área de tratamiento donde se le extraerá la dureza, pasando primero por un filtro de arena encargado de

retener impurezas provenientes del pozo. A continuación, el fluido pasa a tres tanques suavizadores que contienen grava y resina catódica donde se busca eliminar los iones de calcio y magnesio principalmente. Una vez tratada el agua, se almacena en las piscinas de agua fría ya sea de trefilación o fundición, dependiendo de las necesidades de la planta.

En el caso de fundición, que es el área en donde se encuentra el problema a tratar, el agua suavizada o agua blanda circula de la piscina de agua fría directo a la línea de proceso, donde realizara su función principal de extracción de calor. Una vez el agua salga del proceso, es depositada en un tanque de agua caliente para luego hacerla pasar por las torres de enfriamiento y retornar a la piscina de agua fría. Este ciclo se repite tantas veces sea posible mientras que las características del agua blanda se mantengan dentro de unos parámetros establecidos. Una inspección del agua se debe realizar cada cierta cantidad de ciclos para que en caso de no tener los valores apropiados entonces actuar para solucionar el problema. Dependiendo de estas condiciones, se puede drenar toda la piscina o también suplementar con más agua tratada en caso de pérdidas.

En la Figura 9 se puede observar un esquema del proceso de tratamiento del agua desde que sale del tanque elevado.

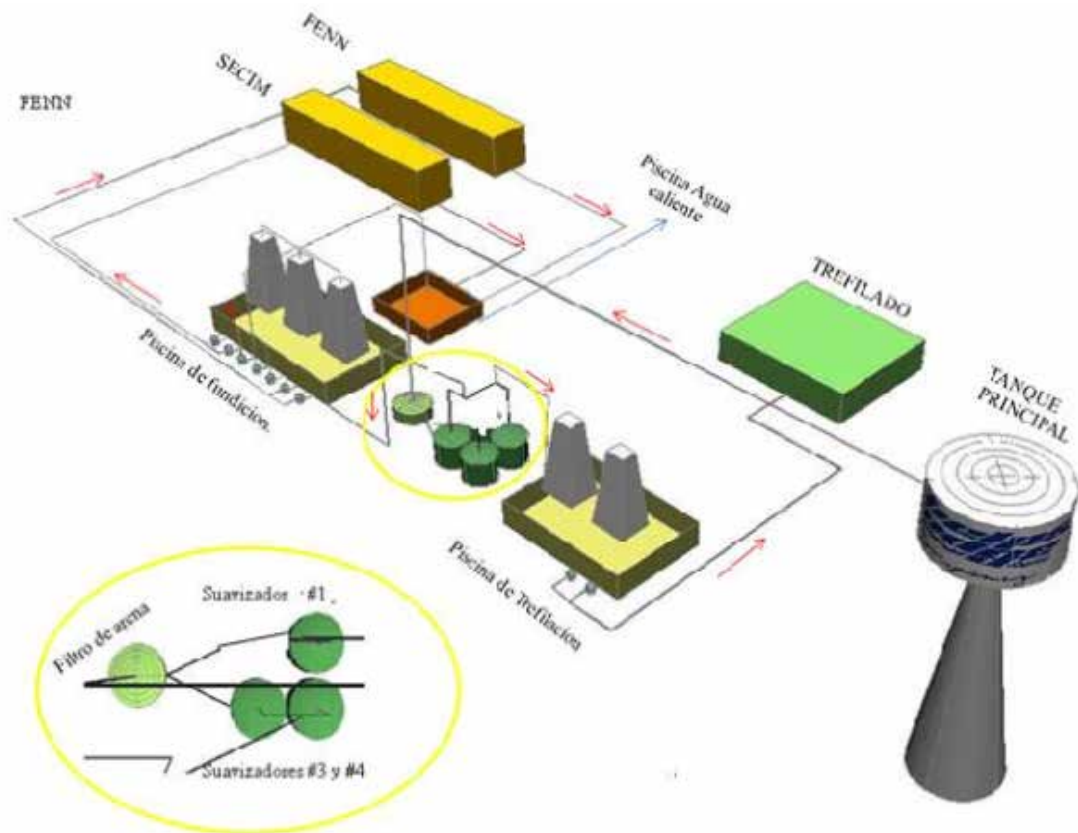


Figura 9. Esquema del proceso de tratamiento de agua.

Fuente: Da Graca (2016)

En un recorrido por la zona de las torres de enfriamiento, un factor que atrae de manera considerable, es la degradación en la que se encuentra la torre de enfriamiento de la marca Baltimore (ver Figura 10), que es la de mayor capacidad y se encuentra instalada desde septiembre del 2008. Se observa un deterioro ocasionado por los efectos de la corrosión, que es semejante a la que se puede encontrar en ambientes marinos, es decir, muy agresivo. A consecuencia de esto, la vida útil del equipo disminuye de modo considerable y con el tiempo va representando un peligro para el personal que labora en la zona.



Figura 10. Torre de enfriamiento marca Baltimore de Alcave planta Conal.

Fuente: Da Graca (2016)

Son variados los tipos de corrosión que hacen presencia en el sistema, originados por la diferencia de electronegatividad entre dos metales en contacto y denominados corrosión electroquímica.

Lo que más se observa en la torre, en especial en los paneles de acero galvanizado, son zonas localizadas con agujeros y pérdida de trozos debido a la expansión de los mismos, a esto se le conoce como corrosión por picadura (ver Figura 11). Además, se manifiesta también la corrosión microbiológica en tuberías sumergidas en el pozo y en lugares donde se acumula la humedad (ver Figura 12). Adicionalmente se observa la presencia de corrosión atmosférica en las tuberías de suministro de agua externas (ver Figura 13) y también la corrosión galvánica en tuercas de unión y debido

a una lámina de otro material que se colocó para solventar una fuga de agua (ver Figura 14).



Figura 11. Corrosión por picadura en paneles, turbinas y poleas.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 12. Corrosión microbiológica en tuberías sumergidas y concentradoras de humedad.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 13. Corrosión atmosférica.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 14. Corrosión galvánica.

Fuente: Da Graca (2016)

Con el paso del tiempo la corrosión fue deteriorando las instalaciones y no se tomaron las previsiones necesarias, hasta que llegó un punto donde las partes móviles

de la torre de enfriamiento quedaron inservibles y se soldaron por la aparición de la herrumbre.

No obstante, con representar una pérdida en la calidad del equipo y una degradación en la eficiencia del proceso de extracción de calor del agua, es también un riesgo considerable para el personal que labora o circula por los alrededores del lugar.

Continuando con la observación superficial, tratando de conocer un poco más del funcionamiento del sistema y también en busca de las causas que dieron inicio a la problemática, se explora aguas arriba para chequear el proveedor del agua que se utiliza en la línea y que enfría la torre Baltimore. Al pasar por la zona de tratamiento de agua, es curioso encontrar un estado similar de degradación como el observado en la torre de enfriamiento. Se exhibe un área que, aunque se encuentra en total funcionamiento según el operador, muchos de sus componentes muestran un aspecto casi inservible o con un tiempo de vida útil a punto de finalizar.

Lo primero que se puede observar al entrar en el área, es una paleta llena de sacos de sal marina expuesta a las condiciones de naturales del lugar (ver Figura 15).



Figura 15. Paleta con sacos de sal marina.

Fuente: Da Graca (2016)

También se aprecia un tanque plástico donde se realiza la mezcla de salmuera (agua y sal) para el proceso del tratamiento de agua, y este se encuentra totalmente destapado como se ve en la figura 16.

Estas condiciones asociadas al cloruro de sodio hacen un llamado a la atención por el estado corroído de muchos equipos y estructuras que se encuentran en la proximidad, por ejemplo, las vigas del techo como se ve en la figura 17, a pesar que se encontraban recubiertas con pintura, con el tiempo han obtenido una capa de corrosión. Otro aspecto alarmante expuesto en esta planta, son las válvulas de cierre rápido (ver Figura 18) y los soportes de los tanques, que poseen un aspecto que incitan a pensar en su pronto colapso.



Figura 16. Tanque de salmuera destapado.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 17. Deterioro en estructura de la zona de tratamiento de agua.

Fuente: Da Graca (2016)



Figura 18. Válvulas de cierre rápido oxidadas.

Fuente: Da Graca (2016)

Alcave Venezuela C.C.A. planta Conal teniendo en cuenta el potencial riesgo que representa esta condición y también conociendo la pérdida de eficiencia en el equipo de enfriamiento, pretende realizar un cambio de la torre de enfriamiento Baltimore por una de modelo idéntico que tienen en su almacén, que tiempo atrás estaba destinada a otro proyecto. Sin embargo, no sería aceptable permitir nuevamente el declive en la calidad del equipo, por lo que es necesario diseñar un sistema anticorrosivo capaz de disminuir la velocidad de corrosión.

2.2. Formulación del Problema

¿Qué estrategia de protección se puede aplicar en la empresa para disminuir la velocidad de corrosión que presenta la principal torre de enfriamiento?

2.3. Objetivos de la investigación

2.3.1. Objetivo general

- Diseñar una estrategia de protección anticorrosiva para el sistema de enfriamiento

2.3.2. Objetivos específicos

- Evaluación de las condiciones de las torres de enfriamientos y los componentes vecinos
- Estudio y análisis de las propiedades del agua utilizada
- Comprensión de los materiales constituyentes de los elementos de la torre
- Plantear una alternativa de solución sustentado en el estudio técnico.

2.4. Justificación

Por la importancia que posee el proceso de enfriamiento del agua en la principal actividad de la empresa Alcave Venezuela C.C.A y además por las malas condiciones en el que se encuentra hoy en día el mecanismo por el cual se realiza la extracción de calor del agua, es que se ha prestado mayor atención en el desarrollo de técnicas de protección capaces de garantizar las condiciones de los equipos.

El plan a realizar más adelante por la empresa en cuanto a la torre de enfriamiento Baltimore, es el reemplazo completo del equipo por un modelo idéntico para la optimización en el proceso de enfriamiento de agua. A consecuencia de eso, es necesario plantear un sistema de protección para evitar un desgaste tan violento de los componentes por culpa de la corrosión.

2.5. Alcance

El propósito de este proyecto es plantear una solución ante la necesidad de cuidar y mantener en el tiempo de manera operativa la torre de enfriamiento Baltimore, esquematizando el sistema anticorrosión más eficiente para ese equipo.

2.6. Limitaciones del estudio

En el desarrollo del proyecto, se presentaron diferentes factores que restringen un poco la evolución del mismo. El principal factor administrador de presión es sin duda alguna el tiempo para la realización, ya que el plazo estipulado para el período de pasantías es de tan solo 12 semanas (3 meses), tiempo completo.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

Toda investigación toma en consideración los aportes teóricos realizados por autores y especialistas en el tema a objeto de estudio, de esta manera se podrán tener una visión amplia sobre el tema de estudio y el investigador tendrá conocimiento de los adelantos científicos en ese aspecto. En el presente capítulo se expondrá una breve reseña de las más relevantes investigaciones realizadas y las bases teóricas que sustentan los planteamientos de este proyecto.

3.1 Antecedentes.

Aquí presentamos varios proyectos integradores efectuados en los últimos años, cada uno con aportes valiosos para el diseño de sistemas de protección anticorrosivos para enfriadores

Nayarí Febles (2005) desarrollo un proyecto sobre mejoras en el monitoreo de torres de enfriamiento e intercambiadores de calor, cuya investigación hace referencia a modificar el sistema de control y chequeo debido a la presencia de corrosión en los sistemas de refrigeración en una refinería en Tenerife, España, en busca de mejores resultados. El método utilizado se basó en la documentación de la instrumentación existente, realizando un diagrama de flujo de producción y se implementó un medidor de corrosión en una sola torre de enfriamiento con el fin de mejorar el tratamiento químico de las mismas. Conjuntamente se presupuestó la automatización del aporte y la purga, así como la instrumentación para monitorear la acumulación de impurezas en intercambiadores.

Como resultado, el medidor de corrosión identifico la presencia de fugas de hidrocarburos con bastante prontitud, sin embargo, en la actualidad no se toman las medidas correctivas a tiempo.

En consecuencia, se propone que las acciones no radiquen solo en la observación y la ejecución de medidas correctivas sino en la prevención mediante estudios estadísticos que permitan obtener la probabilidad de falla de un intercambiador para que se revise en una parada programada antes de que ocurra la falla del mismo.

El estudio conduce y orienta a nuestra investigación porque hace referencia a factores importantes que deben ser considerados a la hora de pensar en el diseño de un posible sistema de protección anticorrosivo en sistemas de enfriamiento. Adicionalmente, expone una posible solución que se aleja un poco de aplicaciones físicas y plantea una metodología de inspección para el monitoreo en la aparición de corrosión.

Del mismo modo encontramos que Gabriel Ixtepan (2009) presento un proyecto enfocado en la reducción del factor de ensuciamiento en intercambiadores de calor de un solo paso mediante la aplicación de un óptimo tratamiento químico al agua de enfriamiento. Tiene como objetivo el estudio y análisis tanto de los intercambiadores de calor como de la calidad del agua de suministro que es la principal causante de los elementos incrustantes y por ende de la corrosión ocasionada en los equipos.

El método aplicado fue el monitoreo durante un mes con el tratamiento químico original que se le realizaba al agua. Una vez tabulado los resultados, se aplicó otro tratamiento al agua y nuevamente se monitorea durante un mes los coeficientes de transferencia de calor, coeficiente de limpieza y el factor de ensuciamiento. Posteriormente se compararon resultados y se concluyó.

En consecuencia, al estudio, lograron demostrar la efectividad de cada uno de los tratamientos mediante el cálculo del factor de ensuciamiento en el intercambiador de calor, de esa forma tuvieron conocimiento teórico del comportamiento del manejo y operación de los productos a emplear en el tratamiento químico y realizar las dosificaciones de acuerdo a las necesidades del sistema de enfriamiento.

Es ese proyecto el que da una nueva perspectiva de como atacar el problema en la torre de enfriamiento que se debe proteger, brindando la idea de analizar el principal factor de corrosión que vendría siendo el agua que se desea enfriar.

3.2 Bases Teóricas.

3.2.1 Torres de Enfriamiento.

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, extrayendo el calor del agua mediante evaporación o conducción. El proceso es económico, comparado con otros equipos de enfriamiento.

El agua se introduce por la parte superior de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado con una temperatura menor a la temperatura del agua, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación), originando que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Parte del agua que se evapora, causa la emisión de más calor, por eso se puede observar vapor de agua encima de las torres de refrigeración.

Entonces se puede calcular la eficiencia actual con una simple formula:

$$\varepsilon = \frac{tL1-tL2}{tL1-tbh} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- tL1 = Temperatura del agua a la entrada de la torre.
- tL2 = Temperatura del agua a la salida de la torre.
- tbh = Temperatura de bulbo húmedo.

3.2.2 Clasificación de las torres de enfriamiento.

La manera más simple y frecuente de clasificar las torres de enfriamiento es conforme la forma de desplazar el aire por medio de estas. Según este criterio, tenemos:

3.2.2.1 Torres de circulación natural.

- **Atmosférica:** Las torres atmosféricas usan las corrientes de aire de la atmosfera. El aire se mueve de forma horizontal y el agua cae verticalmente, conocido como flujo cruzado. Son torres de gran altura y pequeñas secciones transversales. Deben instalarse en lugares muy despejados, de forma que ningún obstáculo pueda impedir la libre circulación de aire por medio de la torre. Actualmente, las torres atmosféricas no son muy utilizadas.
- **Tiro natural:** El flujo del aire necesario se obtiene como resultado de la diferencia de densidades, entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre. Utilizan chimeneas de gran altura para obtener el tiro deseado. Debido a las grandes dimensiones de estas torres se utilizan flujos de agua de más de 200000 gpm. Es muy utilizado en las centrales térmicas. (ver Figura 19)

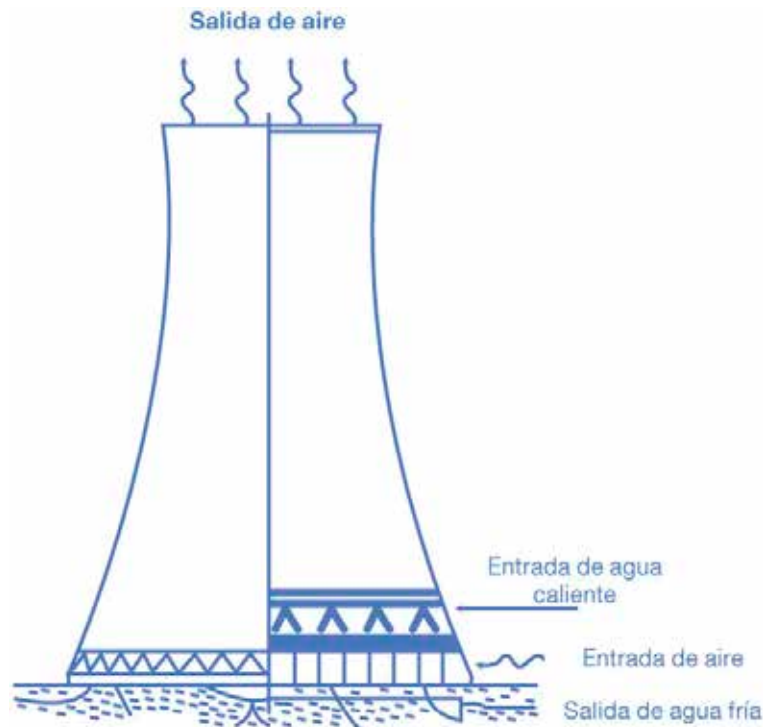


Figura 19. Esquema torre de circulación natural

Fuente: Google imágenes (2016)

3.2.2.2 Torres de tiro mecánico.

Las torres de tiro mecánico dan un control total sobre el caudal de aire suministrado. Se trata de torres compactas, con una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural.

El agua caliente que llega a la torre es rociada mediante aspersores que dejan pasar hacia abajo el flujo del agua a través de unos orificios. El aire utilizado en la refrigeración del agua es extraído de la torre de cualquiera de las formas siguientes:

- **Tiro inducido:** El aire se succiona a través de la torre mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre (ver Figura 20). Son las más utilizadas.

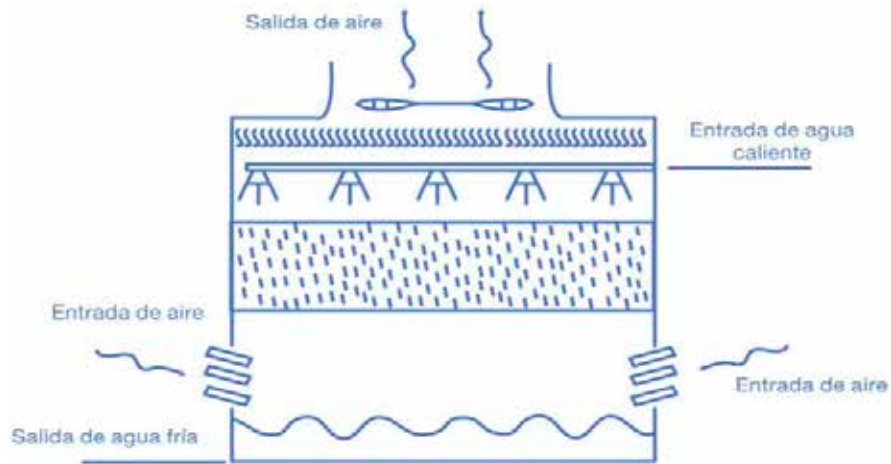


Figura 20. Esquema torre de tiro inducido.

Fuente: Google imágenes (2016)

- **Torres de flujo cruzado:** El aire entra por los lados de la torre fluyendo horizontalmente a través del agua que cae (ver Figura 21). Estas torres necesitan más aire y tienen un coste de operación más bajo que las torres a contracorriente

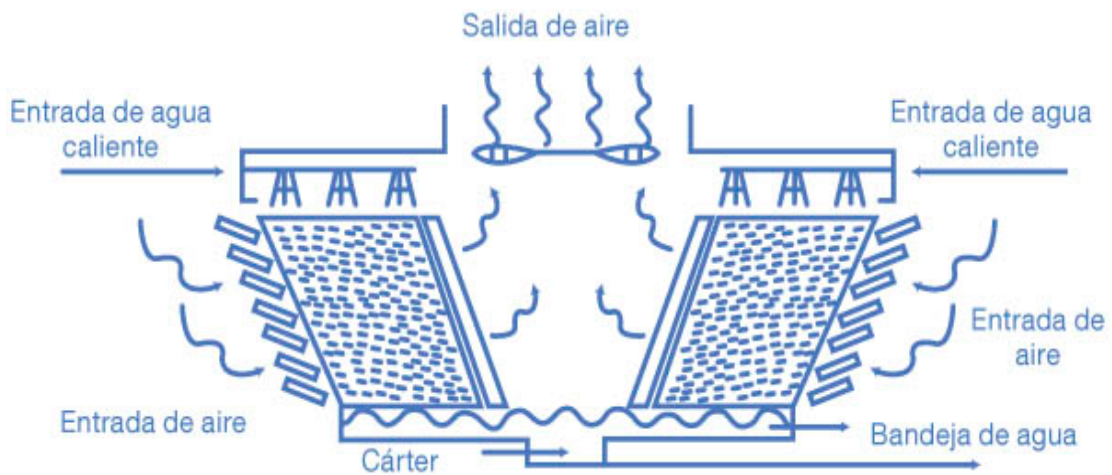


Figura 21. Esquema torre de flujo cruzado.

Fuente: Google imágenes (2016)

- **Tiro forzado:** El aire es forzado por un ventilador situado en la parte inferior de la torre y se descarga por la parte superior. Se trata de torres compactas, con

una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural.

El principio de funcionamiento se explica en conjunto con la figura 22. El agua (1) del proceso caliente procedente de la fuente de calor entra en el sistema de pulverización (2) situado en la parte superior de la torre de enfriamiento, desde donde se distribuye al relleno o al medio de transferencia de calor (3). Al mismo tiempo, el ventilador centrífugo (4) del sistema de movimiento de aire, ubicado en la parte inferior de la torre de enfriamiento, envía aire (5) ambiental hacia la parte superior de la torre. Cuando el agua del proceso contacta con el aire frío, este se calienta y parte del agua del proceso se evapora, dando como resultado una transferencia de calor óptima. La balsa de la torre (6) recoge el agua enfriada (7), tras lo cual esta vuelve a la fuente de calor del proceso. El aire caliente saturado (8) abandona la torre a través de los eliminadores de gotas (9), que retiran las gotas de agua del aire.

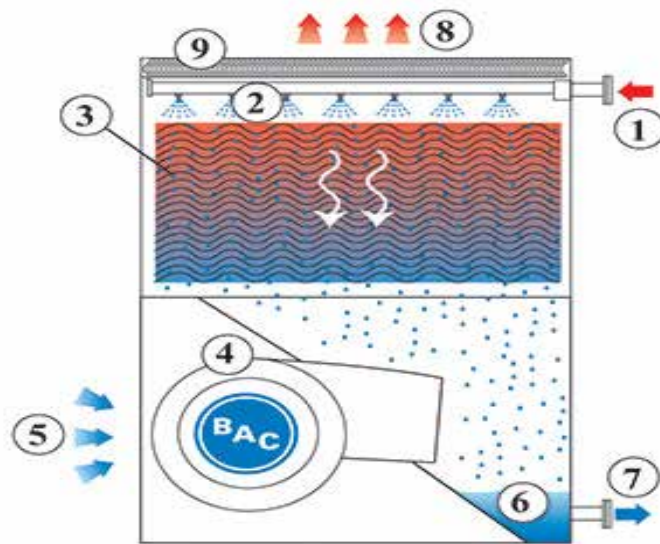


Fig. 22 Torre de Enfriamiento de Tiro Forzado

Fuente: Baltimore (2016)

3.2.3 Temperatura de bulbo húmedo.

Es la temperatura de equilibrio dinámico que se alcanza en la superficie del agua cuando el flujo del calor transferido a la superficie por convección se iguala con el flujo de masa transferido fuera de la superficie.

La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura más baja que puede ser alcanzada a través de la evaporación de agua solamente. Llevándolo a cosas cotidianas, es la temperatura que sentimos cuando tenemos la piel mojada y nos exponemos a aire en movimiento. Este tipo de temperatura es un indicador de la cantidad de humedad que hay presente en el aire.

Entonces la temperatura de bulbo húmedo es la mínima temperatura que puede ser alcanzada por enfriamiento evaporativo solamente. Para una cantidad dada de aire a una presión conocida y una temperatura de bulbo seco (la temperatura normal que medimos con termómetro), la temperatura de bulbo húmedo se corresponde con valores únicos de humedad relativa, punto de rocío otras propiedades.

Para aire “seco”, que es aire que no está saturado (humedad menor a 100%), la temperatura de bulbo húmedo es más baja que la temperatura de bulbo seco, debido al enfriamiento evaporativo. Cuanto más grande la diferencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y seco, más seco está el aire y más baja la humedad relativa. El punto de rocío es la temperatura a la cual el aire ambiente alcanza una humedad relativa de 100%.

3.2.4 Aproximación de temperatura.

Se define como la diferencia entre la temperatura del agua de salida y la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada, es decir, es la representación del límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua.

3.2.5 Ciclos de concentración y purga.

Los ciclos de concentración son la relación de la concentración de los sólidos disueltos en el agua circulante comparada con la concentración de los sólidos disueltos en el agua de aporte.

La concentración de sólidos que tienen lugar en el agua del sistema crea un problema de sobresaturación de sales que pueden precipitar, como son el carbonato de cálcico, sulfato cálcico, silicato cálcico y magnésico, entre otros, incluso con un tratamiento de agua apropiado.

Por lo tanto, para que un tratamiento sea efectivo, se deben limitar los ciclos de concentración a un nivel adecuado mediante purgas de agua en el sistema o en la misma torre, siendo sustituida el agua purgada por agua de aportación.

Así pues, el agua que se aportará al sistema compensará las pérdidas producidas por el viento y arrastres en la misma torre.

$$Aportación = Evaporación + Purga \quad (\text{Ec. 2})$$

Los ciclos de concentración se pueden calcular dividiendo el contenido en cloruros del agua recirculante y los del agua de aportación, puesto que los cloruros permanecen solubles, aunque se concentre el agua. Esto es válido siempre que no se haya añadido cloro al agua recirculante. Cl^-

$$Ciclos\ concentración = \frac{\text{Cl}^- \text{ recirculante}}{\text{Cl}^-} \quad (\text{Ec. 3})$$

El porcentaje de agua purgada, puede entonces calcularse también utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Purga = \frac{\% Evaporación}{Ciclos\ concentración - 1} \quad (\text{Ec. 4})$$

3.2.6 Tratamiento del agua para torres de enfriamiento.

El tratamiento químico del agua para torres de enfriamiento, tiene la finalidad de prevenir y controlar los efectos en las líneas y equipos de intercambio de calor, generados por fenómenos de corrosión, incrustación y ensuciamiento. Para conseguir lo anterior, se emplea un tratamiento que puede incluir inhibidores de corrosión e incrustaciones, así como dispersantes de sólidos suspendidos y biocidas entre otros, que se dosifican según el análisis del agua y la evaluación con testigos y probetas corrosimétricas que se instalan en el sistema de enfriamiento.

3.2.7 Estabilidad del agua.

El agua es estable cuando no forma incrustaciones ni es corrosiva. Muchas aguas son estables, pero al aumentar la temperatura o al airearse tienden a formar incrustaciones o a ser corrosivas. Para determinar la estabilidad del agua se emplean el índice de saturación de Langelier y el de estabilidad de Ryznar. Estos índices predicen la tendencia incrustante o corrosiva del agua y depende de las siguientes características: pH, dureza cálcica, alcalinidad total, sólidos disueltos y temperatura.

3.2.8 Índice de estabilidad o IRS.

El índice de estabilidad Ryznar o IRS (Index Rysnar Stability), relaciona el contenido de sales solubles existentes en el agua, con su grado de corrosividad en presencia de determinados factores tales como el pH y la temperatura.

Se puede determinar este índice mediante la siguiente ecuación:

$$IRS = pH(\text{medio})$$

Una vez calculado el índice de Ryznar se define el carácter del agua de una manera más detallada en los siguientes intervalos:

Tabla 1. Calidad del agua en función del IRS

	Muy incrustante.
	Débilmente incrustante.
	En equilibrio.
	Agresiva.
	Fuertemente agresiva.
	Muy fuertemente agresiva.

3.2.9 Propiedades del agua.

En función a la aplicación para sistemas de enfriamiento, las propiedades del agua que nos interesa conocer son:

3.2.9.1 Conductividad – Sólidos disueltos.

La conductividad es una medida de la capacidad de un material, en nuestro caso el agua, en conducir electricidad. Nos da una idea, de manera indirecta, de la cantidad de minerales disueltos. Es medida en mmhos/cm (mS/cm) y puede variar desde valores muy bajos, para el agua destilada, hasta valores de 10.000 en el caso de agua de mar.

La conductividad tiene cierto efecto en la corrosión y formación de depósitos. Dependiendo del diseño particular del sistema de enfriamiento, las características del agua y del tipo de tratamiento, cada programa de tratamiento de agua en sistemas de enfriamiento trabajara con determinados intervalos de conductividad.

3.2.9.2 pH.

Coficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. Provee una indicación de la concentración y equilibrio de compuestos ácidos y alcalinos en el agua. El control de pH es crítico para la mayoría de los programas de tratamiento. En general, cuando el pH se encuentra por debajo del intervalo

especificado, aumenta el potencial de corrosión, si es mayor aumenta el potencial de formación e incrustaciones. De igual manera, la efectividad de muchos biocidas también depende del pH de forma tal que, permitirá o inhibirá el crecimiento y desarrollo de microorganismos.

3.2.9.3 Alcalinidad.

Es una medida de la capacidad de un agua para neutralizar o consumir un ácido. La alcalinidad y el pH están relacionados en forma directa. Al igual que con el pH, una alcalinidad por debajo del intervalo especificado aumentara la tendencia a la corrosión, en el caso contrario la formación de incrustaciones es probable. En las aguas de enfriamiento, es importante conocer de dos tipos de alcalinidad: alcalinidad por carbonatos (CO_3^{2-}) y la alcalinidad por bicarbonatos (HCO_3^-).

3.2.9.4 Dureza.

Es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Los niveles de dureza se asocian comúnmente a la tendencia de las aguas a formar o no incrustaciones y más recientemente, con el desarrollo de nuevas tecnologías, con el proceso de control de la corrosión en el agua. Algunos programas para el control de corrosión pueden funcionar solo dentro de ciertos niveles de dureza, por lo tanto, es importante asegurarse que los niveles de esta sean lo suficientemente altos para garantizar el control adecuado de la corrosión a costos razonables. La dureza de las aguas naturales puede variar desde poca ppm a más de 800 ppm

3.2.9.5 Turbidez y Sólidos suspendidos.

Las partículas muy pequeñas, que se hidratan y pueden cargarse eléctricamente para mantener un estado de repulsión continuo que les impide aglomerarse y crecer, son llamados coloides. Estos constituyen la llamada turbidez. Las partículas de mayor tamaño, sin carga eléctrica, caen en la categoría de sólidos sedimentables. Los sólidos suspendidos, en altas concentraciones, son indeseables en un sistema de enfriamiento porque causan taponamientos, reaccionan o absorben los químicos usados en el tratamiento, erosionan los equipos y facilitan procesos microbiológicos y corrosivos.

3.2.9.6 Gases disueltos.

La solubilidad de un gas en el agua depende de las características del mismo, pero en general depende de tres factores: temperatura, presión parcial y de sí es capaz o no de reaccionar químicamente con el agua. Los gases más comunes y que pueden ocasionar problemas en un sistema de enfriamiento son el oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3) y el ácido sulfhídrico (H_2S). Estos dos últimos gases proceden normalmente de contaminaciones desde el lado del proceso. En general todos estos gases mencionados están asociados a procesos corrosivos severos en los diferentes tipos de enfriamiento.

3.2.9.7 Sílice.

La sílice es el segundo elemento más común en la corteza terrestre, después del oxígeno. Tanto las aguas superficiales como las de pozo contiene sílice, pero estas últimas pueden tener concentraciones superiores debido a una mayor alcalinidad del agua. Las aguas superficiales contienen, normalmente, entre 7 y 19 ppm. Las aguas subterráneas pueden tener 20 ppm y en algunos casos llegan hasta valores de 100. La sílice es la responsable de la formación de depósitos en los sistemas de enfriamiento cuando sus concentraciones alcanzan el nivel de saturación, el cual está alrededor de los 150 ppm. A concentraciones menores también puede formar depósitos en combinación con el magnesio.

3.2.9.8 Sulfatos y cloruros.

Los cloruros son compuestos altamente solubles y abundantes en las aguas naturales. Los problemas que ocasionan están principalmente relacionados con la corrosión, ya sea en el agua o debajo de depósitos.

Los sulfatos son altamente solubles, pero el sulfato de calcio ($CaSO_4$), puede formar incrustaciones cuando su solubilidad es excedida. También son corrosivos.

Ambos compuestos juegan un papel muy importante en la corrosión tipo picaduras.

3.2.10 Suavización del agua.

La suavización o ablandamiento del agua es la eliminación de calcio y magnesio del agua dura. Los jabones mejoran notablemente la cantidad de espuma, evita incrustaciones en equipos y tuberías por lo que aumenta su tiempo de vida. La suavización del agua se logra generalmente usando resinas de intercambio iónico.

El agua natural contiene iones de calcio y magnesio que forman sales que no son muy solubles. Estos cationes, junto con los cationes estroncio y bario, aunque menos comunes y solubles, se denominan en conjunto iones de dureza.

Las resinas de intercambio catiónica de ácido fuerte, que se utilizan en forma de sodio eliminan estos cationes de la dureza del agua. Los suavizadores, cuando se saturan con estos cationes, se regeneran con cloruro de sodio (NaCl, sal sin yodo).

Un ejemplo de las reacciones de calcio:



Donde “R” representa la resina, que esta inicialmente en la forma de sodio. La reacción para el magnesio es idéntica.

La reacción anterior es un equilibrio. Se puede invertir mediante el aumento de la concentración de sodio en el lado derecho. Esto se hace con NaCl y la reacción de regeneración es:



El ciclo de suavización depende de la cantidad de agua y dureza que pasen a través del suavizador, calculado previamente por un análisis de laboratorio. Una vez agotada su capacidad de intercambio, el suavizador tienen que cargar nuevamente de sodio a la resina de intercambio iónico para comenzar de nuevo su ciclo de suavización.

Un buen suavizador de agua durará muchos años. Hay suavizadores que han trabajado durante 20 años con sus respectivos mantenimientos, cambio de resina cada

2 o 3 años, y que solamente requieren llenarlos con la sal (sodio) de vez en cuando el tanque de salmuera.

3.2.11 Intercambio iónico.

El intercambio de iones se realiza mediante un polímero en forma de esferas diminutas que son capaces de intercambiar iones particulares por otros iones, en una solución que se pasa a través de ellos. A estas esferas de gel sintéticas se les llama “resinas de intercambio iónico” (ver Figura 23). Esta capacidad también se observa en varios sistemas naturales, tales como los suelos y las células vivas. Las resinas sintéticas no solo se utilizan para la purificación del agua, sino también para varias otras aplicaciones que incluyen la separación de algunos elementos.

En la purificación del agua, el objetivo principal es ablandar el agua o eliminar el contenido mineral. El agua se suaviza mediante el uso de una resina que contiene cationes de sodio Na^+ , y los intercambia por calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} que son más fuertes que el Na^+ .

A medida que el agua pasa a través de la resina, aumenta la captación de Ca^{2+} y Mg^{2+} hasta saturar la resina, en este punto es necesario regenerar la resina, saturándola de nuevo con Na^+ para que inicie desde cero.



Figura 23. Esferas de gel sintético llamadas también resina de intercambio iónico.

3.2.12 Principio de funcionamiento del suavizador de agua.

Los suavizadores de agua instalados en Alcave utilizan válvulas neumáticas, las cuales poseen la característica de regenerar co-corriente secuencia basada en los principios elementales de intercambio de hierro. Inicialmente, la resina de catión ácido fuerte en el sodio (Na^{+1}) se coloca en el servicio. Durante el proceso de ablandamiento de agua, el catión sodio, los iones de sodio son intercambiados por las cantidades indeseables de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y el hierro (Fe^{+2}). Los iones de sodio ya presentes en el agua, son ablandados para que pasen a través del proceso de intercambio. En caso de que se de agotamiento de la resina (como se indica por la fuga de dureza inaceptable), una secuencia de regeneración que contiene cloruro de sodio (NaCl) es utilizada. La secuencia de generación invierte el proceso anterior y convierte la resina catiónica de ácido fuerte a la forma de sodio para el ablandamiento de agua de los ciclos posteriores. El rango de capacidad varía desde los 20.000 hasta los 30.000 granos por pie cúbico del total disuelto en el contenido de agua, la calidad del efluente del agua deseada y la cantidad de regenerante de cloruro de sodio usado. Se debe tener en cuenta que, aunque el agua se ha suavizado, el total de los líquidos disueltos contenidos se mantienen sin cambio alguno. Además, el efluente contiene la misma cantidad de aniones en el agua sin tratar.

Los equipos tienen cinco ciclos de operación que son:

- Servicio – Proceso de suavización, flujo descendente.
- Lavado – Limpieza hidráulica, flujo ascendente.
- Inyección de salmuera – Restauración de la resina a la forma de sodio, flujo descendente.
- Enjuague lento – Desplazamiento de salmuera residual, flujo descendente.
- Rápida descarga – se prepara para el ciclo de descalcificación de servicio, flujo descendente.

En la figura 24 se puede observar un esquema del intercambio iónico.

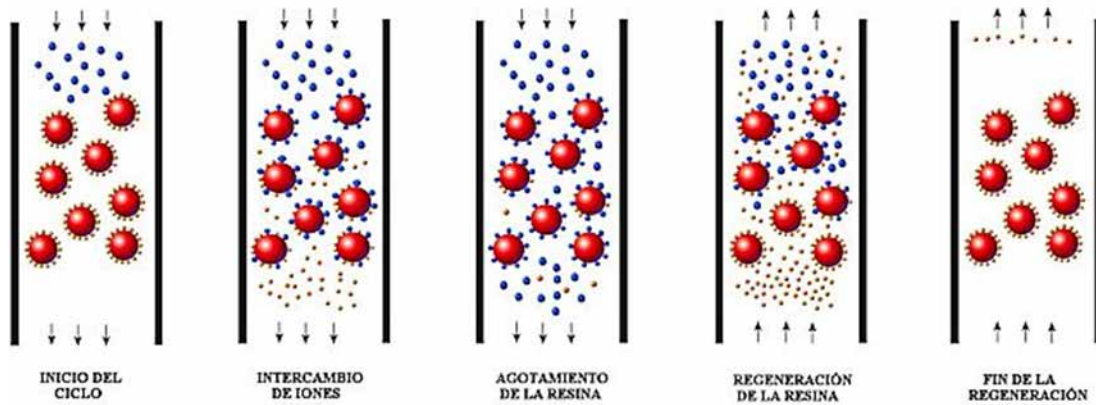


Figura 24. Esquema de intercambio iónico.

3.2.13 Corrosión en sistemas de enfriamiento.

La corrosión es un proceso electroquímico por el cual el metal es revertido a su estado natural. Por ejemplo: el acero al carbono es el metal más utilizado en sistemas de enfriamiento y es muy susceptible a la corrosión. En presencia de agua el oxígeno atacara al hierro convirtiéndolo en sus óxidos.

Otros metales tales como el cobre de aluminio y sus respectivas aleaciones también son susceptibles a la corrosión, pero en menor grado que el acero al carbono. No obstante, en algunas aguas, estos metales pueden estar sujetos a severos ataques localizados. Además, ciertos gases disueltos tales como el H_2S y NH_3 , son generalmente más destructivos para estos metales que para el acero al carbono.

La utilización de aleaciones más resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable, no se justifican en la mayoría de los casos, debido a los costos de estos materiales.

3.2.14 Proceso de corrosión.

El proceso ocurre cuando se tiene una celda de corrosión, la cual se conforma por un ánodo, un cátodo, un electrolito y un conductor de electrones. El metal se disuelve

en el ánodo, formándose iones metálicos solubles en el electrolito, que en nuestro caso sería el agua, al mismo tiempo que se producen electrones libres



Estos electrones fluyen a través del metal hasta otros puntos llamados cátodos, donde ocurren reacciones que consumen estos electrones. En general pueden ocurrir las siguientes reacciones:



El tipo de reacción que se verá favorecida dependerá del pH, temperatura del agua y concentración de oxígeno disuelto. En la figura 4 se muestra una celda de corrosión típica. Es importante hacer notar que el ánodo y el cátodo pueden no estar juntos, y por el contrario pueden estar separados una gran distancia.

Toda superficie metálica está recubierta de pequeñas e innumerables áreas anódicas y catódicas. Estos sitios usualmente se producen por irregularidades en la superficie formadas durante el trabajo sobre el metal, por tensiones por soldadura, moldeado u otro trabajo o por diferencias de composición en la superficie del metal.

En el caso del acero, esto puede ser causado por microestructuras diferentes. En el latón la diferencia puede ser debida a pequeños cristales de zinc o cobre, que forman la aleación. Inclusiones en o debajo de la superficie del metal pueden causar pares galvánicos. Estas impurezas pueden haber estado presentes durante la fundición del metal o por haber sido incrustadas durante el proceso de laminado, extrusión o moldeado.

3.2.15 Velocidad de corrosión.

La disolución del metal en el ánodo y la oxidación del oxígeno en el ánodo son las dos reacciones básicas que ocurren en sistemas de enfriamiento. La velocidad con que ocurrirán estas reacciones dependerá entre otros factores de la temperatura, concentraciones de oxígeno disponible, tamaño del ánodo y tamaño del cátodo.

Una superficie catódica grande, con respecto al área anódica, permite una mayor reacción entre oxígeno, agua y electrones de forma tal que el flujo de electrones desde el ánodo aumenta acelerando el proceso corrosivo. Por el contrario, a medida que la zona catódica se hace más pequeña respecto al área anódica, la tasa de corrosión disminuye. Sin embargo, si el área anódica es reducida sin una correspondiente disminución del área de la superficie catódica se disolverá la misma cantidad de metal, pero en pocos y pequeños sitios, causando de esta forma un ataque localizado o picadura.

La temperatura del agua afecta enormemente la velocidad de reacción, un aumento de 10 °C en la temperatura duplica la velocidad de la corrosión. Además, a medida que aumenta la temperatura del agua, disminuye su viscosidad acelerando la disolución de oxígeno hasta el cátodo

3.2.16 Tipos de corrosión

3.2.16.1 Corrosión generalizada

Existe cuando la corrosión está uniformemente distribuida sobre toda la superficie. La considerable cantidad de óxidos de hierro que se forman contribuye además con problemas de ensuciamiento e incrustaciones.

En la figura 25 se puede observar un ejemplo de este tipo de corrosión.



Figura 25. Ejemplo de corrosión generalizada.

3.2.16.2 Corrosión localizada (Picaduras o pitting)

Existe cuando las zonas anódicas son muy pequeñas respecto a las catódicas. Este es el tipo de corrosión más peligroso, ya que el ataque se concentra en pequeñas áreas. Las picaduras pueden perforar el metal en períodos de tiempo muy cortos.

En la figura 26 se puede observar un ejemplo de este tipo de corrosión.



Figura 26. Ejemplo de corrosión por picadura.

3.2.16.3 Corrosión galvánica

Puede ocurrir cuando dos metales diferentes entran en contacto. El metal más activo se corroe rápidamente. Ejemplos comunes en sistemas de enfriamiento son acero y latón, zinc y acero, zinc y latón, si ocurre ataque galvánico el metal mencionado primero será el que se corroerá como se ve en la figura 27.



Figura 27. Ejemplo de corrosión galvánica.

3.2.16.4 Fractura por tensión

Un metal bajo tensión en un ambiente corrosivo, puede fracturarse. La tensión sobre el metal puede ser debida a cualquier tipo de fuerza que cause dilataciones, compresiones o curvaturas. También puede ser causada por tensiones remanentes en el metal después de su fabricación, laminado, soldado, etc.

La fractura por tensión, inducida por celdas de concentración de cloruros, es un tipo de fractura por corrosión - tensión muy común pero no exclusiva del acero inoxidable. (Ver Figura 28).



Figura 28. Ejemplo de corrosión con fractura por tensión.

3.2.16.5 Fractura por fatiga

Es el resultado de la combinación de un ambiente corrosivo y una tensión cíclica, rutinaria seguida de periódicos de relajación.

Este tipo de proceso puede ocurrir en cualquier tipo de ambiente corrosivo, sin importar el tipo de metal.

Las fracturas suelen ocurrir perpendiculares a la dirección de la tensión y la velocidad de propagación depende de la corrosividad del medio, la cantidad de esfuerzo y de la frecuencia de los ciclos de tensión - relajación. (Ver Figura 29).



Figura 29. Ejemplo de corrosión con fractura por fatiga.

3.2.16.6 Tuberculación

Puede ser causada por varios factores. Este tipo de corrosión produce una estructura en forma de cúpula sobre la superficie del metal. Es muy común en sistemas sin tratamiento. El “tubérculo” suele estar formado por óxidos de hierro y otros productos de corrosión.

En la figura 30 se puede observar un ejemplo de este tipo de corrosión.



Figura 30. Ejemplo de tuberculación.

3.2.16.7 Remoción selectiva o Lixiviación selectiva

Los depósitos pueden producir la corrosión selectiva de aleaciones en sistemas de enfriamiento. Este proceso también conocido como “des-aleación” es simplemente la remoción de uno de los metales de la aleación (ver Figura 31).

El elemento que es más resistente a la corrosión permanecerá en la aleación. Un caso típico de este proceso es la dezincificación del latón.



Figura 31. Ejemplo de lixiviación selectiva.

3.2.16.8 Erosión - Corrosión

Es otro tipo de corrosión que involucra condiciones físicas y químicas para que ocurra. La erosión y corrosión tiene lugar cuando una fuerza es aplicada sobre la superficie del metal, ya sea por los sólidos suspendidos en el agua o por burbujas de gas.

Este tipo de ataque se distingue por la presencia de huellas similares a las que dejaría un caballo caminando en la dirección del flujo.

En la figura 32 se puede observar un ejemplo de este tipo de corrosión.



Figura 32. Ejemplo de corrosión – erosión.

3.2.16.9 Celdas de concentración diferencial

Así como diferentes metales en contacto pueden generar corrientes galvánicas, los depósitos sobre una superficie metálica dan origen a pares galvánicos por diferencia de concentración entre el oxígeno o las sales disueltas entre el seno del agua y la superficie debajo del depósito.

Las celdas de aireación o concentración diferencial son una causa común de picaduras.

3.3 Definición de términos básicos

3.3.1 Biocidas

Pueden ser sustancias químicas sintéticas o de origen natural o microorganismos que están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo considerado nocivo para el hombre.

3.3.2 Ppm

Partes por millón (ppm) es una unidad de medida con la que se mide la

concentración. Determina un rango de tolerancia. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agua, etc) que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de gramos de agua, si se pintara una gota de negro (siendo 1 gota de agua equivalente a 1 gramo de agua), esta gota representaría una (1) parte por millón. Se abrevia como "ppm". Se expresan concentraciones muy pequeñas de las sustancias en una mezcla.

3.3.3 Solubilidad

La solubilidad es la capacidad que tiene una determinada sustancia (solute) de disolverse en un determinado medio (disolvente). Implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad determinada de disolvente, a determinadas condiciones de temperatura, e incluso presión (en caso de un soluto gaseoso). Puede expresarse en unidades de concentración: molaridad, fracción molar, etc.

3.3.4 Ion

Un ion es un átomo o molécula que no tiene una carga eléctrica neutra. Se denomina catión un ion con carga positiva, y anión un ion con carga negativa. El proceso de ganar o perder electrones (respecto al átomo o molécula neutros) se llama ionización. Se suelen representar los cationes y los aniones con el símbolo del átomo correspondiente y el símbolo "+" o "-", respectivamente. Si el número de electrones ganado o perdido es mayor que uno, también se indica.

3.3.5 Efluente.

La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

3.3.6 Salmuera

Solución formada por altas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl), sal común, en agua (H₂O). se puede encontrar en condiciones naturales como lagos, ríos y mares donde la evaporación o congelación hace que aumente la concentración de esta sal. También es preparada por el hombre para ser utilizada en la industria o la vida

cotidiana, debido a que la diversidad de sus propiedades favorece su amplia aplicación.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLOGICO

Toda investigación se fundamenta en un marco metodológico, el cual define el uso de métodos, técnicas, instrumentos, estrategias y procedimientos a utilizar en el estudio que se desarrolla. Al respecto, Balestrini (2006) define “el marco metodológico como la instancia referida a los métodos, la diversas reglas, registros, técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes de lo real”. También tenemos que según Finol y Camacho (2008), el marco metodológico está referido al “como se realizará la investigación, muestra el tipo y diseño de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, validez y confiabilidad y las técnicas para el análisis de datos”.

4.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación es un proyecto factible operacional por dar una solución viable a cierta problemática. “Se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad operacional” (Arias, 2012).

4.2 Diseño de la investigación.

El objetivo de diseñar la investigación es proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerla. El diseño de investigación se refiere a la manera en que se dará respuesta a las interrogantes formuladas en la investigación. Por supuesto, estas maneras están relacionadas con la

definición de estrategias a seguir en la búsqueda de soluciones al problema planteado. (Tamayo, 2003).

El diseño de la investigación utilizado es el no experimental, ya que, fue basado fundamentalmente en la observación de los fenómenos tal y como se dieron en su contexto natural y luego fueron analizados.

Con la finalidad de definir un procedimiento que permita llevar a cabo el desarrollo sistemático de la investigación, la misma es dividida en las siguientes fases:

FASE I: Evaluación de las condiciones de las torres de enfriamientos y los componentes vecinos

En el desarrollo de esta fase se pudo identificar las problemáticas físicas que presentan las torres de enfriamiento, conjuntamente con los elementos que componen el sistema completo. Seguidamente se procedió a un análisis más profundo, con la finalidad de implementar técnicas de recolección de datos basados en la observación directa y la entrevista al personal que labora y mantiene las instalaciones del sistema.

Como técnicas de recolección de datos se utilizó la observación directa ya que es el método más rápido de adquirir la información para poder analizarla. Adicionalmente la entrevista nos permitió tener acceso a información más específica que nos dio una idea de las condiciones de uso y así concluir las causas de la degradación presente en las torres de enfriamiento.

FASE II: Estudio y análisis de las propiedades del agua utilizada

En la fase II se buscó analizar las características que posee el agua que pasa por las torres, además de estudiar las propiedades ideales que debe tener para en buen funcionamiento de los sistemas de enfriamiento según lo sugerido por los manuales Baltimore. Se contó con los resultados de exámenes del tratamiento del agua realizados anteriormente por laboratorios y también se estudió los procedimientos del tratado de las aguas.

FASE III: Comprensión de los materiales constituyentes de los elementos de la torre

La fase III estuvo destinada a la aprehensión de los materiales constituyentes del sistema. En el estudio de la corrosión es indispensable conocer las propiedades de los materiales utilizados y es por esto que se dedica una fase de la investigación a este tema. Una vez conocidas las posibles capacidades y limitaciones de los materiales, se realizó un análisis concluyente en cuanto a los factores que puedan estar afectando la integridad de las estructuras y mecanismos con respecto al ambiente en el cual se encuentra el conjunto.

FASE IV: Planteamiento de una alternativa de solución sustentado en el estudio técnico.

En esta última fase se aprovechó toda la información recopilada en las fases anteriores, tales como las condiciones de trabajo, las propiedades del agua y tipo de material y sus características. De igual manera se hizo uso de la información suministrada en registros anteriores con datos de problemas semejantes al de esta investigación y a teorías que nos encaminaron para la búsqueda de una solución al problema.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Diagnóstico de las condiciones actuales de la torre de enfriamiento marca Baltimore, en la empresa Alcave, planta Conal.

Como se ha mencionado antes, las condiciones en las que se encuentra la torre de enfriamiento marca Baltimore no son para nada favorables, a pesar de que por ella aún se sigue realizando el paso de agua caliente para extraer la energía en forma de calor, no está realizando siquiera la mitad del trabajo para la cual fue instalada.

Con el paso del tiempo y el deterioro progresivo que ha venido sufriendo, la torre ya no cuenta con los motores que impulsan a los ventiladores centrífugos que se detallan en la lista de componentes de la torre (Ver anexo A), por lo tanto, la empresa cuenta prácticamente con solo una estructura de torre. Aun así, si se propusieran solamente colocar nuevos motores, no obtendrían buenos resultados ya que, con la falta de movimiento, las piezas móviles de los ventiladores, se encuentran trabadas o se puede decir también soldadas por la aparición de la herrumbre consecuencia de la corrosión.

La parte estructural también se ve afectada por la corrosión, algunas zonas en mayor cantidad que otras, pero, aun así, en términos generales, las condiciones del equipo son deplorables.

5.1.1 Características y capacidad instalada de la torre de enfriamiento Baltimore modelo VT1 1018-03L.

Las torres de enfriamiento Baltimore VT0/1 poseen características de contraflujo, con ventilador centrífugo y de tiro forzado.

Trabajan en un rango de capacidad de entre 7 y 455 l/s con una distribución de agua del tipo presurizado.

Estos modelos de torres de enfriamiento, trabajan con una temperatura del agua de entrada máxima de 55 °C cuando tienen el sistema de relleno estándar, y una temperatura máxima de 65 °C cuando posee relleno alternativo.

El modelo utilizado en la planta Conal, es el VT1 1018-03L y en condiciones normales de funcionamiento puede ofrecer en la variación de temperatura hasta un rango de 8 °C. Con una entrada de agua caliente de aproximadamente 40 °C, que es la temperatura con la cual el fluido sale de la línea de proceso, una vez pasada por la torre se puede obtener una temperatura de salida de 32 °C. Bajo estas condiciones de trabajo la capacidad es de 69,3 l/s según la tabla de “Prestaciones de la torre de enfriamiento VT0-1 en condiciones estándar” (Anexo B) ofrecidas por el manual de Baltimore.

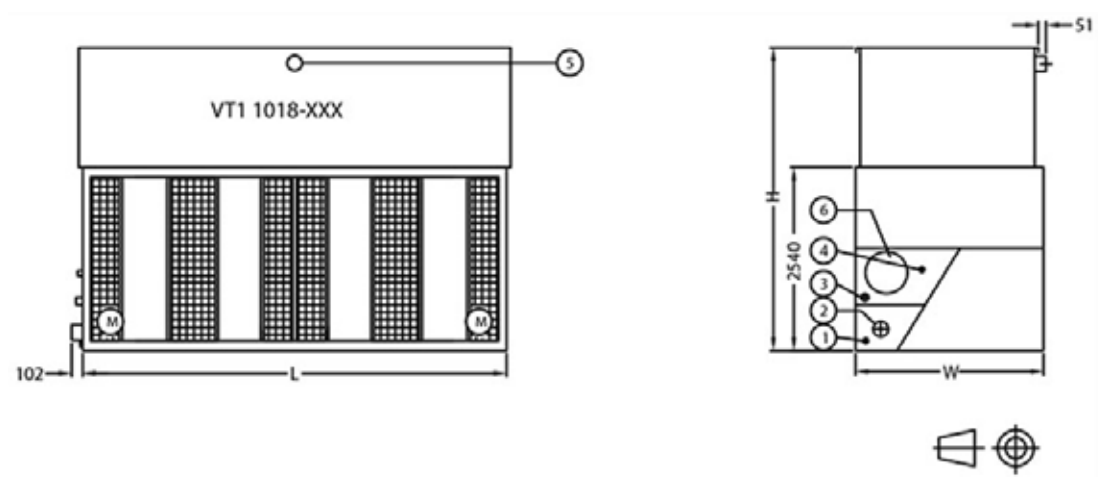


Figura 33. Torre de enfriamiento modelo VT1 1018-XXX. 1. Vaciado ND50; 2. Salida de agua; 3. Rebosadero ND50; 4. Llenado ND25; 5. Entrada de agua; 6. Puerta de acceso.

Tabla 2. Datos técnicos de las torres de enfriamiento del tipo VT1 1018

Modelo	Pesos (kg)			Dimensiones (mm)			Caudal de aire (m³/s)	Motor del ventilador (kW)	Entrada de fluido DN (mm)	Salida de fluido DN (mm)	Llanado DN (mm)
	Peso en funcionamiento (kg)	Peso de expedición (kg)	Sección más pesada batería (kg)	L	W	H					
VT1 10 18-01L	7143	4198	2608	5388	3000	4030	41.13	(2x) 11.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-01M	7183	4238	2648	5388	3000	4030	45.61	(2x) 15.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-01N	7261	4316	2726	5388	3000	4030	48.91	(2x) 18.5	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-01O	7305	4360	2770	5388	3000	4030	51.82	(2x) 22.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-02L	7588	4648	2608	5388	3000	4487	40.83	(2x) 11.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-02M	7628	4688	2648	5388	3000	4487	45.27	(2x) 15.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-02N	7706	4766	2726	5388	3000	4487	48.55	(2x) 18.5	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-02O	7750	4810	2770	5388	3000	4487	51.44	(2x) 22.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-03L	8083	5128	2608	5388	3000	4944	40.42	(2x) 11.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50
VT1 10 18-03M	8123	5168	2648	5388	3000	4944	44.82	(2x) 15.0	(1x) 250	(1x) 250	(1x) 50

5.1.2 Eficiencia actual de la torre VT1 1018-03L.

Considerando la condición actual del equipo, el cual no posee operativo su sistema de ventiladores centrífugos, se podría pensar que la eficiencia del mismo es automáticamente nula. Sin embargo, cuando se hace pasar el agua caliente por la torre, se obtiene una variación en la temperatura del agua. Esto se debe en parte al relleno o “rompe gotas” que, al exponer pequeñas partículas de agua con la atmosfera o el aire exterior, permite un intercambio térmico mientras las gotas caen por la torre hasta la piscina de agua fría. Este comportamiento se puede asociar un poco con las torres de enfriamiento de circulación natural.

Gracias a la recolección de datos realizada en la empresa, se pudo conocer que la temperatura final que arroja la torre de enfriamiento bajo las condiciones actuales es de aproximadamente 37 °C y la temperatura de bulbo húmedo es de 27 °C (Anexo B) por lo tanto, utilizando la Ec. 1, tenemos que la eficiencia es igual a:

$$\varepsilon = \frac{40 - 37}{40 - 27} \cdot 100 = 23,07\%$$

5.1.3 Requerimiento de eficiencia de la torre VT1 1018-03L.

Es fundamental elaborar los procesos con el menor esfuerzo, costo, energía y tiempo posible para poder obtener una mayor ganancia. Con esta idea, la planta Conal requiere la mejor eficiencia posible en su torre de enfriamiento Baltimore.

Basando el cálculo de eficiencia (Ec. 1) en los datos obtenidos de la tabla de “Propiedades de las torres de enfriamiento VT0-1 en condiciones estándar” tenemos:

$$\varepsilon = \frac{40 - 32}{40 - 27} \cdot 100 = 61,54\%$$

Esta es la eficiencia máxima que puede otorgar la torre de enfriamiento bajo las condiciones de trabajo para las que fue instalada, considerando que no es posible obtener una temperatura menor a la de bulbo húmedo.

5.2 Estudio y análisis de las propiedades del agua

Es vital realizar un estudio del agua utilizada en la planta y que pasa por la torre de enfriamiento. Como no se puede responsabilizar solamente al medio ambiente del gran deterioro que ha sufrido las instalaciones, es prudente evaluar las condiciones a las que se somete el equipo para lograr la comprensión de lo que ha ocurrido con el tiempo. El agua utilizada en Alcave Venezuela, planta Conal, es extraída de un pozo profundo natural y la cantidad de minerales e impurezas que pueda contener no son deseables para el proceso, por esta razón, es procesada primero en una zona de tratamiento de agua.

Es indispensable conocer los requerimientos de calidad de agua que demanda la torre de enfriamiento y compararlos con las que suministra la planta de tratamiento.

5.2.1 Propiedades del agua requeridas para la torre de enfriamiento.

El mantenimiento de una dureza mínima en el agua de llenado compensa las propiedades corrosivas del agua totalmente descalcificada y permite depender menos de los inhibidores de la corrosión para proteger el sistema. Para controlar la corrosión y las incrustaciones, la composición química del agua en circulación se debe mantener dentro de las directrices de calidad del agua de los materiales de construcción concretos utilizados, tal como se indica en la siguiente tabla extraída del manual Baltimore.

Tabla 3. Recomendaciones de calidad de agua en recirculación para sistema de protección híbrido Baltibond.

	Acero galvanizado con sistema de protección anticorrosión híbrido BALTIBOND
pH	De 6,5 a 9,0
Dureza total (según CaCO ₃)	50 a 600 mg/l
Alcalinidad total (según CaCO ₃)	500 mg/l máx.
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l máx.
Conductividad	2400 µS/cm
Cloruros	300 mg/l máx.
Sulfatos *	350 mg/l máx. *
Sólidos totales en suspensión	25 mg/l máx.
Cloración (como cloro libre): continuo	1,5 mg/l máx.
Cloración (como cloro libre): dosificación de choque para limpieza y desinfección	5 – 15 mg/l durante 6 horas máx. 25 mg/l máx. durante 2 horas máx. 50 mg/l máx. durante 1 hora máx.

***Nota:** Se permite una mayor cantidad de sulfatos, siempre que la suma de sulfatos + cloruros no supere los 650 mg/l.

5.2.2 Propiedades actuales del agua de enfriamiento en la planta Conal.

Según los datos proporcionados por una empresa contratada que se encarga del asesoramiento y análisis de las propiedades del agua y además el suministro de los químicos necesarios para el control, tenemos los siguientes valores del agua luego de pasar por los suavizadores (agua suavizada)

Tabla 4. Resultados del agua suavizada en la planta Conal.

	Agua suavizada.
pH	8,7
Dureza total (según CaCO ₃)	- mg/l *
Alcalinidad total (según CaCO ₃)	350 mg/l
Sólidos disueltos totales	750 mg/l
Conductividad	920 µS/cm
Sólidos totales en suspensión	17 mg/l
Índice (IRS)	5,5

***Nota:** No presento dureza a la hora del muestreo.

5.2.3 Estudio del procedimiento de trabajo del sistema de suavizadores.

Existe un procedimiento de trabajo en el área de tratamiento del agua que es importante cumplir cuando corresponda y que tiene como finalidad estandarizar las actividades básicas necesarias para asegurar la correcta operación y el buen uso de los equipos y herramientas presentes en el área de suavizadores por parte de los operadores.

5.2.3.1 Retrolavado del filtro de arena.

Verificación de llave principal (agua del tanque elevado).

- Asegúrese que está en posición Abierta (Vertical).
- Esta llave siempre debe estar abierta (Agua del tanque elevado).

Razón: garantizar la circulación de agua por el sistema.



Cerrar llave de paso #1.

- Girar llave de paso #1 en sentido horario).

Razón: Evitar el paso de agua hacia los suavizadores.



Abrir llave de paso #2.

- Girar llave de paso #2 en sentido anti horario.

Razón: Habilitar el paso de agua desde abajo hacia arriba del tanque de arena (en dirección opuesta) retro dirección.



Cerrar llave de paso #3.

- Girar llave de paso #3 en sentido horario.

Razón: Evitar que el flujo de agua se dirija hacia la parte superior del filtro.



Abrir llave de paso #4.

- Girar llave de paso #4 en sentido anti horario.
- Esperar aproximadamente 30 minutos.

Razón: Habilitar el desagüe para así completar el ciclo de limpieza (Retrolavado).



Verificación de agua.

- Al cumplirse el tiempo de retrolavado o desagüe el fluido debe tener un color 100% cristalino, observe en el tubo de drenaje el aspecto del agua.

Razón: El agua cristalina garantiza que no se obstruya la resina interna en los suavizadores.



Puesta en servicio luego del retrolavado.

- Abrir la llave de paso #1.
- Cerrar llave de paso #2.
- Abrir llave de paso #3.
- Cerrar llave de paso #4.
- La llave (principal) siempre debe estar abierta (agua proveniente del tanque elevado).

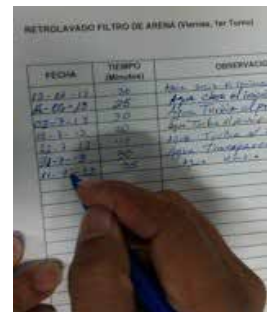
Razón: Para colocar el equipo en “SERVICIO” de Agua filtrada que ingresará al sistema de suavizadores.



Reporte de Actividad.

- Llevar a cabo el retrolavado 2 veces en la semana. (con un día de por medio).
- Reporta en el formato (IPF 0020) las veces que lleva a cabo la actividad.

Razón: Permite el monitoreo y control de la actividad.



5.2.3.2 Regeneración y succión. Suavizadores 3 y 4.

Abrir llave de paso del suavizador.

- Abra la llave de paso del suavizador a regenerar (#3 ó #4), una de ellas debe permanecer cerrada.

Razón: Para dar inicio al proceso de regeneración de manera efectiva.



Activación del tablero.

- Pulsar el botón “Regeneración” (R).

Razón: Puesta en marcha de los suavizadores.



Enjuague lento

- Tarda 15 minutos; (en el display aparece C1...15).

Razón: Para que se inicie el enjuague lento o primer ciclo de regeneración.



Succión de salmuera y enjuague rápido

- Abrir la llave de succión(S) de salmuera ubicada entre los suavizadores.
- Esperar 70 minutos; En el display se observa C2...70

Razón: Inicie el ingreso de sal en el suavizador. Para que se cumpla el ciclo de succión y se vacíe el tanque de salmuera.



Llenado de tanque de salmuera y adición de sal (fin del ciclo).

- En el display aparece C3...25.
- Agregar 12 sacos de sal.
- Dejar llave de succión(S) abierta.
- Esperar 25 minutos.



- Llenar el tanque hasta el nivel indicado cerrando la llave de succión(S).
- Fin del ciclo (En el display aparece la cantidad de galones de agua suave disponibles).
- Abrir la llave de aire (A), en el tanque de salmuera.
- Disponer de las bolsas vacías de sal en el respectivo recipiente ubicado en el área.



Razón: Para tener la concentración de sal (salmuera) óptima para un buen ciclo de regeneración. Para que la sal se disuelva por completo en el agua y dejar la mezcla preparada para el próximo ciclo de regeneración. Para mantener el área limpia.

Suministro de agua suave para las piscinas y llenado de reportes.

- La luz verde en el tablero de control indica el suavizador en servicio. “Abrir la llave de paso que le corresponda según la señal”
- Piscina de Fundición: Abrir la llave de paso (F).
- Piscina de trefilación: Abrir la llave de paso (T).
- Tomar una muestra cada cierto tiempo durante la dosificación de agua en las piscinas y determinar dureza.
- Verificar el nivel de agua en la piscina durante la dosificación.
- Reportar en el formato IPF 0007 (si regeneró). Si sólo completó nivel en las piscinas llenar el formato IPF 0008



Razón: Para mantener los niveles adecuados de agua suave en las piscinas que garanticen el buen funcionamiento de los procesos. Garantizar la calidad de agua y monitorear los galones disponibles de agua suave del equipo(suavizador). Para el

monitoreo, reporte y control de regeneración y suministro de agua suave en las piscinas.



5.2.3.3 Regeneración y succión. Suavizador 1.

Retrolavado.

- Abrir válvula #1, #7, #5. El resto deben estar cerradas: (2,3, 4,6,8,9,10,11). **NOTA:** La válvula #1 queda semi abierta durante todo el proceso de regeneración.
- Espere 15 minutos para este ciclo.
- Asegúrese que el agua no esté turbia luego del tiempo estipulado.

Razón: Para comenzar el primer ciclo de regeneración. Garantizar calidad de agua durante el proceso de regeneración.



Succión de sal.

- Abrir las válvulas: #2, #3, #4, #9. El resto deben permanecer cerradas (5,6,7,8,10,11).
- Tiempo de succión aprox. 10 a 15 minutos. (hasta que se vacíe todo el tanque de salmuera).

Razón: Permite el paso de salmuera al sistema para completar la regeneración o activación de la resina del suavizador.



Enjuague lento y llenado del tanque de salmuera.

- Abrir las válvulas: #2, #4, #9. El resto debe permanecer cerradas: (3,5, 6, 7, 8,10) Tiempo de este ciclo: (30 a 35 minutos).
- Dejar el nivel del tanque de salmuera hasta la marca establecida, luego de esto cierre la válvula (S) ubicada cerca del tanque.

Razón: Permite limpiar el sistema internamente de los residuos de sal que ingresaron al sistema Y permite el llenado del tanque de salmuera. Evitar derrames y garantizar la concentración óptima en la solución (**salmuera**).



Agregar sacos de sal y activar aire al tanque de salmuera.

- Agregar 12 sacos de sal al tanque.
- Abrir la válvula de aire (A) ubicada encima del tanque.

Razón: Garantiza la concentración, disolución y mezcla homogénea de la sal en el agua para la próxima regeneración.



Lavado rápido.

- Abrir las válvulas: #6 y #9; el resto debe permanecer cerradas: (1,2,3,4,5,7,8,10,11).
- Tiempo del ciclo 15 minutos.

Razón: Permite la limpieza del resto de la sal en el sistema.



Toma de muestra.

- Tomar una muestra del suavizador al finalizar la regeneración: Abrir válvula #9 ó #10.

Razón: Para medir la dureza total del agua.



Servicio: (monitoreo, reporte y control).

- Abrir las válvulas: #6, #8, #11.
- Tiempo de servicio del suavizador: 15 horas aprox.
- Al dosificar agua se debe tomar muestras cada cierto tiempo.
- Verificar el nivel de las piscinas durante la dosificación.
- Reportar la actividad en formatos: IPF 0007 (Control de los suavizadores). IPF 0008(entrega de agua suave). **NOTA:** En la plataforma de las torres de fundición una válvula alterna identificada como “PISCINA” debe estar abierta.

Razón: Para completar nivel, medir la vida útil del suavizador a través del análisis (dureza total) y registrar la actividad.



5.2.3.4 Dosificación de reactivos en la piscina (Fundición).

Dosificación de reactivos en las piscinas y sistema de purga automática.

- AC-BIO Br, AC- 204 TEF y la Solenoide de purga deben estar conectadas en toma corriente identificado como “AUTOM”.
- El regulador grande (display de solidos disueltos) debe estar conectado al tomacorriente identificado como “TOMA”.
- El AC- 207 TEF, Se debe dosificar 02 veces por semana con un tiempo en cada dosificación de 8 horas.
- En caso de paradas largas de la línea; solo dosificar AC-207 TEF.
- Ácido Sulfúrico: De manera automática; es controlada por un sensor de pH; ubicado en la línea de recirculación. **Nota:** El programa de dosificación de los reactivos y el análisis



completo del agua de los diferentes procesos, es efectuado por una empresa externa.

Razón: Garantizar la calidad del agua en los procesos y prolongar la vida útil de las torres y el resto del circuito evitando la corrosión, incrustaciones, algas, bacterias entre otros. Para el control de pH del agua utilizada en el sistema.



5.2.3.5 Medición de dureza total del agua. Suavizadores.

Tomar la muestra.

- Abra la llave (muestra) ubicada en la parte inferior entre los suavizadores.
- Tome una muestra en el recipiente de vidrio.

Razón: Porque es necesario hacer el estudio a una muestra de 5 ml y colocarla en el recipiente inicial. Facilidad en el análisis.



Medida exacta y trasvase de la muestra.

- Verterla en un tubo de ensayo de 5 ml a ras y botar el resto.
- Pasar el agua del tubo de ensayo al recipiente.

Razón: Para obtener resultados exactos en la medición. Facilita la adición de los demás reactivos y su agitación.



Agregar solución buffer.

- Colocar 10 gotas y agitar el recipiente.

Razón: Para una próxima reacción con el indicador y garantizar homogeneidad en la mezcla.



Agregar indicador.

- Colocar una pisco y agitar el recipiente. Si el agua muestra color azul de inmediato, indica cero durezas; si muestra color violeta, se debe titular.

Razón: Para que reaccione con la solución buffer y arroje el color referencial que determina la dureza del agua.



Agregar titulante EDTA 0,02 Normal (titulación)

- Llenar completamente la jeringa con titulante.
- Agregar gota a gota hasta que cambie de color violeta a azul. Al momento del cambio de color tome la cantidad de gotas utilizadas y compare con la sig. Tabla:

0 - 2 gotas (excelente)

3 - 4 gotas (buena)

> 4 gotas (mala)

Razón: Para obtener la cantidad exacta de gotas agregadas en la solución y determinar de acuerdo a la tabla referencial la calidad del agua.



5.2.4 Rutina a seguir por el operador de los suavizadores.

Antes de comenzar con el proceso de suavizado del agua, el operador debe cumplir con los siguientes pasos:

- Verifica el correcto y buen funcionamiento de los equipos que componen la línea.
- Verifica condiciones de higiene del área de trabajo.
- Verifica condiciones de seguridad en el área de trabajo.
- Verifica el Plan de Producción.
- Realiza o asiste a diálogos de seguridad (DDS).

Luego de realizar las verificaciones y de solucionar inconvenientes en caso de haberlos, el operador procede a cumplir con sus actividades para tratar el agua:

- Cumple con las actividades de operación de la línea como lo establece el instructivo de operación.
- En caso de falla mecánica o eléctrica reporta al supervisor y genera la orden de trabajo.
- Verifica el correcto funcionamiento de la línea durante el proceso.
- Controla y cumple con parámetros de calidad establecidos en la hoja de procesos.
- Contribuye a la reducción de tiempos muertos durante la jornada de trabajo.
- Vela por la limpieza y correcto uso de las herramientas.
- Segrega y coloca los desechos generados en su sitio; contribuyendo con la preservación del medio ambiente

Finalizado el proceso de suavizado, el operador:

- Mantiene el área de trabajo y la máquina limpias y ordenadas.
- Coordina con el operador del turno siguiente la continuidad del trabajo.
- Hacer el cambio de turno

5.3 Evaluación del material de construcción de la torre de enfriamiento.

Los componentes de acero de las torres son protegidos por inmersión en caliente con una única capa de zinc gruesa y uniforme, así como con pintura polimérica externa que aseguran una buena durabilidad y un mantenimiento sencillo.

La tornillería de sujeción cuenta con una triple protección frente a la corrosión.

Todos los bordes cortantes expuestos se cubren con un revestimiento rico en zinc tras la fabricación.

La galvanización por inmersión en caliente evita la corrosión del acero por los mecanismos siguiente:

- Proporcionando un recubrimiento aislante y protector muy duradero, formando capas de Zinc metálicas y aleación de zinc; el cual está unido metalúrgicamente al acero base.
- Por un efecto de protección catódica, también llamada de sacrificio. El zinc se corroe muy lentamente y con preferencia al acero, impidiendo la corrosión incluso sobre las pequeñas zonas del metal de base que puedan quedar accidentalmente expuestas al medio ambiente por deterioro mecánico del recubrimiento,

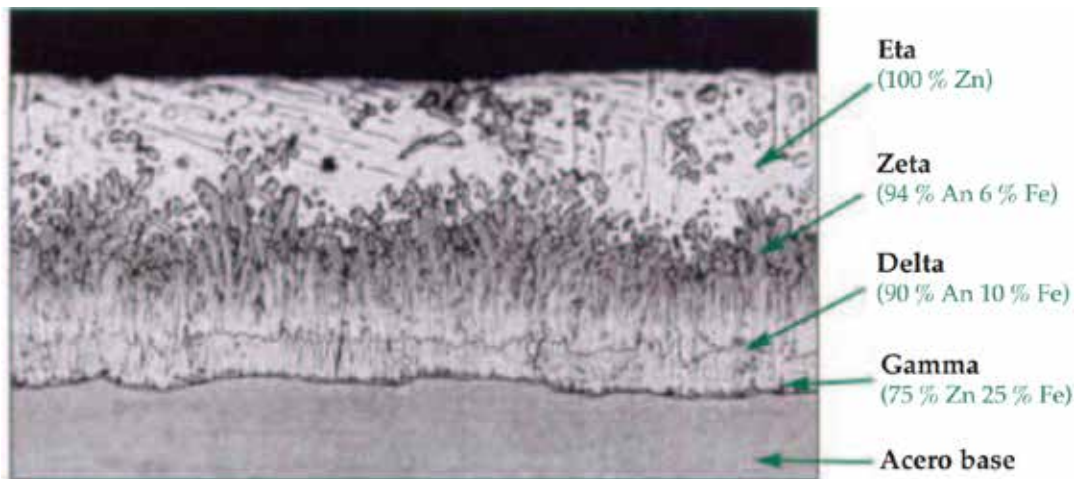


Figura 34. Microestructura de un recubrimiento galvanizado.

Con el acero galvanizado que se utiliza en la fabricación de las torres de enfriamiento marca Baltimore, se controla su calidad de recubrimiento tomando en cuenta las normas internacionales ASTM A123 (Anexo C) para elementos estructurales de mediano y gran tamaño, y la ASTM A153 (Anexo D) para los elementos pequeños.

En la siguiente tabla se puede apreciar los espesores mínimos exigidos de recubrimiento en estructuras de mediano y gran tamaño, según sea el espesor de la pieza a galvanizar:

Tabla 5. Espesor de zinc según norma ASTM A123/A 123M-09

Tipo de material	Espesor del material				
	Menor de 1/16" (1,6mm)	1/16" a 1/8" (1,6 a 3,2mm)	1/8" a 3/16" (3,2 a 4,8mm)	3/16" a 1/4" (4,8 a 6,4mm)	Mayor de 1/4" (6,4mm)
Placas, Platinas, Ángulos	45 µm (1,77 mil)	65 µm (2,56 mil)	75 µm (2,95 mil)	85 µm (3,35 mil)	100 µm (3,94 mil)
Barras, Varillas	45 µm (1,77 mil)	65 µm (2,56 mil)	75 µm (2,95 mil)	85 µm (3,35 mil)	100 µm (3,94 mil)
Tubos	45 µm (1,77 mil)	45 µm (1,77 mil)	75 µm (2,95 mil)	75 µm (2,95 mil)	75 µm (2,95 mil)

Las láminas o placas que conforman la estructura de la torre de enfriamiento ubicada en la planta Conal tienen un espesor promedio de 1,6 mm. Con este valor obtenido por medición en el campo y con la tabla antes presentada, podemos conocer por medio de tablas, un promedio de vida de servicio del galvanizado según las normas ASTM A123.

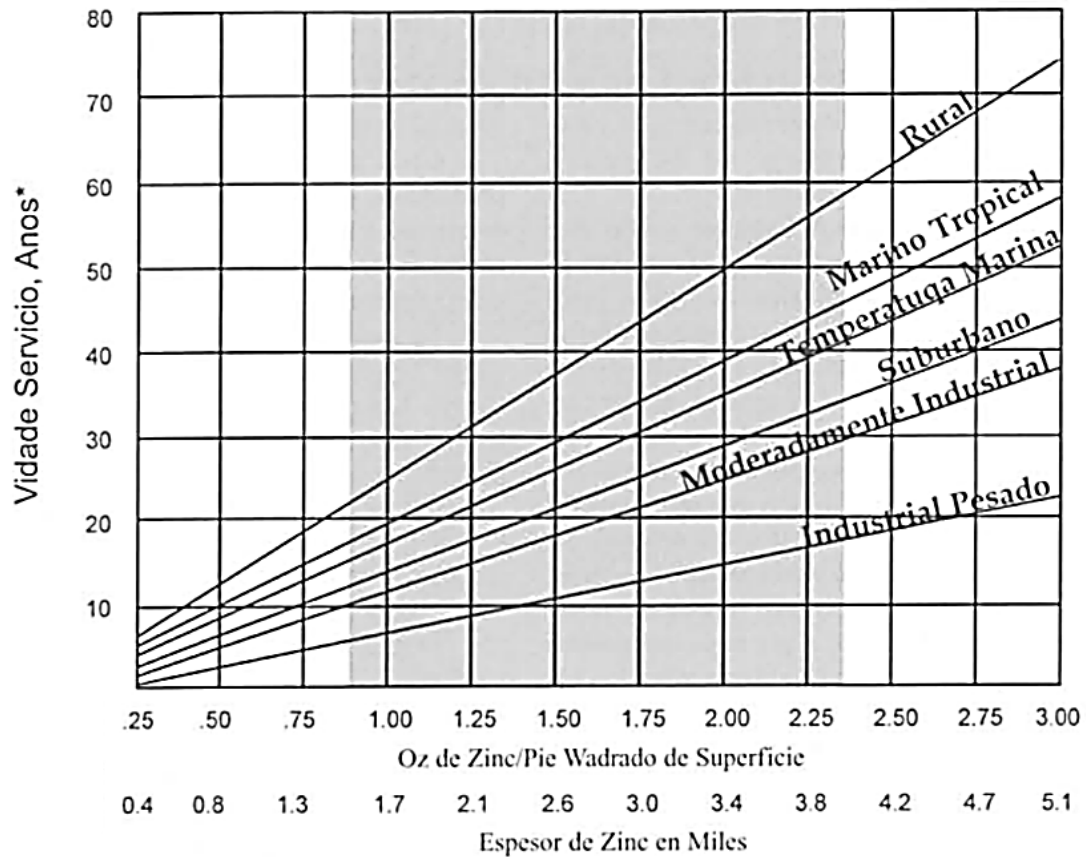


Figura 35. Gráfico de tiempo de servicio promedio según espesor de zinc y tipo de atmosfera

En el gráfico de la figura 35, el área sombreada representa el rango de espesores abarcado por las especificaciones ASTM A123 y A153.

La vida de servicio es definida como el tiempo en el que puede ser utilizado el material sin necesidad de realizar su primer mantenimiento.

Conociendo las características básicas del material base, las especificaciones de la norma en cuanto al espesor del recubrimiento del zinc, y considerando que la torre de enfriamiento se encuentra en lo que podemos catalogar como una atmosfera moderadamente industrial, entonces según la gráfica, las láminas de acero galvanizado que componen la torre, deberían durar en buenas condiciones más de 15 años antes de intervenirlas con un mantenimiento.

Adicionalmente, a esta condición de protección anticorrosiva que ofrece el acero galvanizado, se debe también tomar en cuenta la protección extra que brinda la marca Baltimore en sus equipos; Un recubrimiento especial de pintura polimérica.

La pintura polimérica externa es un revestimiento patentado llamado híbrido Baltibond de nueva generación. Se pulveriza un polímero híbrido especial sobre cada componente de acero galvanizado para una cobertura completa y uniforme de su superficie. Luego esos componentes se someten a un proceso de curación de termo endurecido activado por calor que fusiona el polímero en polvo con las superficies del acero galvanizado.

5.4 Planteamiento de una alternativa de solución sustentada en el estudio técnico.

Con respecto a los tópicos expuestos y analizados anteriormente, se evidencia la existencia de condiciones que no justifican el estado actual en el que se encuentran los equipos en la torre de enfriamiento. En cuanto al tratamiento del agua, la planta Conal cuenta con un manual de procedimiento que, al elaborarse correctamente, suministra las propiedades del agua que son aceptables dentro de los parámetros establecidos por la marca Baltimore para sus torres de enfriamiento. Así mismo, estos equipos se fabrican bajo normas y con materiales que garantizan una extensa vida útil.

Bajo este orden de ideas, la solución se enfocará en el cumplimiento constante y responsable de los manuales ya existentes y en la implementación de jornadas de mantenimiento tanto en los equipos de tratamiento del agua como en la torre de enfriamiento.

En primer lugar, es de gran importancia asignar un personal fijo para cada turno en que la planta de tratamiento estará funcionando, con el fin de que este realice todas las actividades del programa de tratamiento de agua diseñado específicamente para tratar las incrustaciones, la corrosión y para el control biológico y también del programa de supervisión permanente para asegurarse de que el sistema de tratamiento del agua mantiene su calidad dentro de las directrices de control.

El personal asignado debe contar con los conocimientos básicos del tratamiento del agua, sus propiedades y las consecuencias de cada una de estas propiedades ante los equipos de trabajo, para poder realizar las actividades planificadas bajo un criterio propio.

Aun cuando las líneas de producción se encuentren detenidas, se debe cumplir con el mantenimiento y supervisión en la planta de tratamiento. De este modo garantizamos las propiedades del agua y se evita el vaciado total y el llenado con agua nueva a la hora de reactivar las actividades en la línea de producción, disminuyendo los costos por agua y productos químicos. También se debe recircular el agua por la torre de enfriamiento con el fin de oxigenarla, y esto ayuda a evitar el atoramiento de las partes móviles de los equipos por concentración de sólidos o incrustaciones.

Por otro lado, se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo que permita un funcionamiento prolongado, sin problemas y seguro, y la durabilidad operativa para la cual fue diseñada la torre. Es importante también hacer chequeos de mantenimiento predictivo con el objetivo de detectar posibles fallas o defectos que se puedan manifestar en mayor proporción durante el funcionamiento.

El departamento de mantenimiento de la planta Conal debe elaborar estas estrategias de manera puntual para la torre de enfriamiento. Baltimore, ofrece un programa recomendado de mantenimiento y supervisión (Ver anexo E) para el modelo de torre de enfriamiento utilizado, el cual puede representar una base para originar el plan de mantenimiento más acorde a las necesidades de la empresa.

Actualmente, en la torre de enfriamiento Baltimore, observamos reparaciones producto de un mantenimiento correctivo, que para la necesidad del momento en que fueron realizadas eran efectivas, sin embargo, a largo plazo han sido contraproducentes. Cuando hay necesidad de sustituir una pieza del equipo, ya sea por extravío o deterioro, es recomendable contactar al proveedor de servicio o al representante local de la marca. La colocación de piezas originales nos da la seguridad de no estar formando pares galvánicos que traerán como consecuencia la corrosión de la zona en donde se efectúa el cambio.

La modificación de elementos o colocación de equipos ajenos a la torre de enfriamiento, puede traer también consecuencias desfavorables. Hay que evitar la perforación de las partes al igual que soldaduras o remaches que puedan dejar expuesto el metal base a los efectos de la corrosión.

Existen algunos detalles que quizás no parezcan ser relevantes en las causas del problema, pero si lo son. Lo primero que se observa al entrar al área de los suavizadores, es una paleta llena de sacos de sal marina mal almacenada, ya que, el lugar que se le asigno es prácticamente al aire libre y este producto no debe exponerse a la lluvia, humedad excesiva o a la luz del sol directa. En su lugar debe estar en un local o deposito cubierto y con suficiente ventilación.

También se aprecia un tanque plástico donde se realiza la mezcla de salmuera (Agua y sal) para el proceso del tratamiento del agua, y este se encuentra totalmente destapado. Durante la preparación de esta mezcla, el mismo libera vapores que por su alto contenido de cloruro de sodio es perjudicial para los equipos que se encuentran en su vecindad. Esta condición parece ser una de las principales causas del estado corroído de muchos equipos y estructuras, por ejemplo, las vigas del techo, a pesar de que se encontraban recubiertas con pintura, el tiempo y los vapores de agua con sal han hecho que obtengan una capa de corrosión. Es necesario que los operarios encargados de los suavizadores, aseguren el sellado de este contenedor cuando el mismo se encuentre lleno.

CONCLUSIONES

La torre de enfriamiento marca Baltimore modelo VT1 1018-03L de la empresa Alcave Venezuela C.C.A planta Conal, a lo largo del tiempo ha sufrido daños de corrosión por picadura, microbiológica, atmosférica y también corrosión galvánica además de algunos defectos que han ocasionado prácticamente su inutilidad total. En un principio la torre era capaz de suministrar una eficiencia de intercambio de calor de un 61,54 %, ofreciendo una variación de temperatura de 8 °C. Actualmente, la eficiencia ha bajado considerablemente debido a la ausencia de los motores ventiladores y a la degradación de las piezas móviles de la torre gracias a la corrosión. A pesar de estas condiciones se sigue utilizando la torre y esta se comporta como una torre de enfriamiento de circulación natural brindando una eficiencia del 23,07%.

Para comprender un poco más la situación por la que ha pasado el equipo de enfriamiento, se debe tener conocimiento de las especificaciones del agua que pasa por él. Una comparación de las propiedades del agua suavizada obtenidas en la planta Conal garantiza la permanencia dentro de las directrices de calidad de agua para los materiales utilizados en las torres de la marca Baltimore.

Otro factor a considerar es el procedimiento para la suavización del agua, para el cual la empresa cuenta con manuales en donde se detallan los pasos a seguir para la buena aplicación. Estos manuales guían al operario en las actividades de retrolavado del filtro de arena, regeneración y succión de los suavizadores 3 y 4, regeneración y succión del suavizador 1, la dosificación de los reactivos en la piscina de fundición y la medición de dureza total del agua. Estos instructivos fueron realizados con la colaboración de una empresa externa encargada del análisis de las propiedades del agua y el suministro de los químicos necesarios para el control de la misma.

En cuanto a los materiales utilizados en la fabricación de la torre, podemos mencionar al acero galvanizado como material principal. Baltimore trabaja bajo las

especificaciones de la norma ASTM A123 y A153, la cual asegura buena protección contra la corrosión y una durabilidad de más de 15 años antes de demandar mantenimiento. A esto, viene sumado una capa de polímero híbrido especial denominado Baltibond, el cual le da una protección adicional ante la corrosión y los golpes.

En presencia de estas condiciones, en las que la convivencia entre el agua suavizada y los materiales es muy buena, y además los procesos a seguir son los correctos, se dirige la solución a la implementación de un programa preventivo de mantenimiento y a la aplicación constante y responsable de las actividades correspondientes a la planta de tratamiento para la suavización del agua.

Aun así, esta no es la única solución posible, hay que evitar situaciones que se han presentado con anterioridad y que suman en la degradación de los equipos. De ser necesario la sustitución de algún elemento, es prescindible adquirir el más parecido en cuanto a material, evitando así un par galvánico que pueda ser causante de problemas mayores a mediano o largo plazo.

RECOMENDACIONES.

- Realizar periódicamente estudios detallados de las propiedades del agua con el fin de garantizar los correctos procedimientos en los suavizadores.
- Crear una base de datos destinada a los registros de mantenimientos realizados tanto a las torres de enfriamientos como a los suavizadores.
- Modernizar los equipos suministradores de productos químicos en la planta de tratamiento de agua para garantizar las concentraciones adecuadas.
- Se recomienda la utilización de algún software de mantenimiento como herramienta para la realización oportuna y necesaria de actividades preventivas y predictivas de los equipos.

RECOMENDACIONES PARA LA EMPRESA.

- Asignar personal para cada turno de trabajo, responsables de realizar las actividades correspondientes a lo relacionado con el tratamiento del agua. Capacitado de entender la importancia de las propiedades del agua y los efectos que causan a los equipos.
- Cumplir con las actividades programadas en la torre de enfriamiento y los suavizadores para situación de línea de producción detenida.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para la torre de enfriamiento utilizando como base el programa recomendado de mantenimiento y supervisión (Anexo E) aportado por la página de Baltimore
- Elaborar un plan de mantenimiento predictivo para monitorear condiciendo de la torre y prevenir posibles paradas de emergencias.
- Abstenerse de realizar modificaciones a los equipos de la torre de enfriamiento que no estén validadas por Baltimore, evitando así la creación de un par galvánico capaz de corroer parte del sistema.
- Realización de equipos de trabajos para efectuar las diferentes actividades correspondientes a los suavizadores y las torres de enfriamiento. Debe ser responsabilidad tanto del equipo de producción como del de mantenimiento para lograr óptimos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

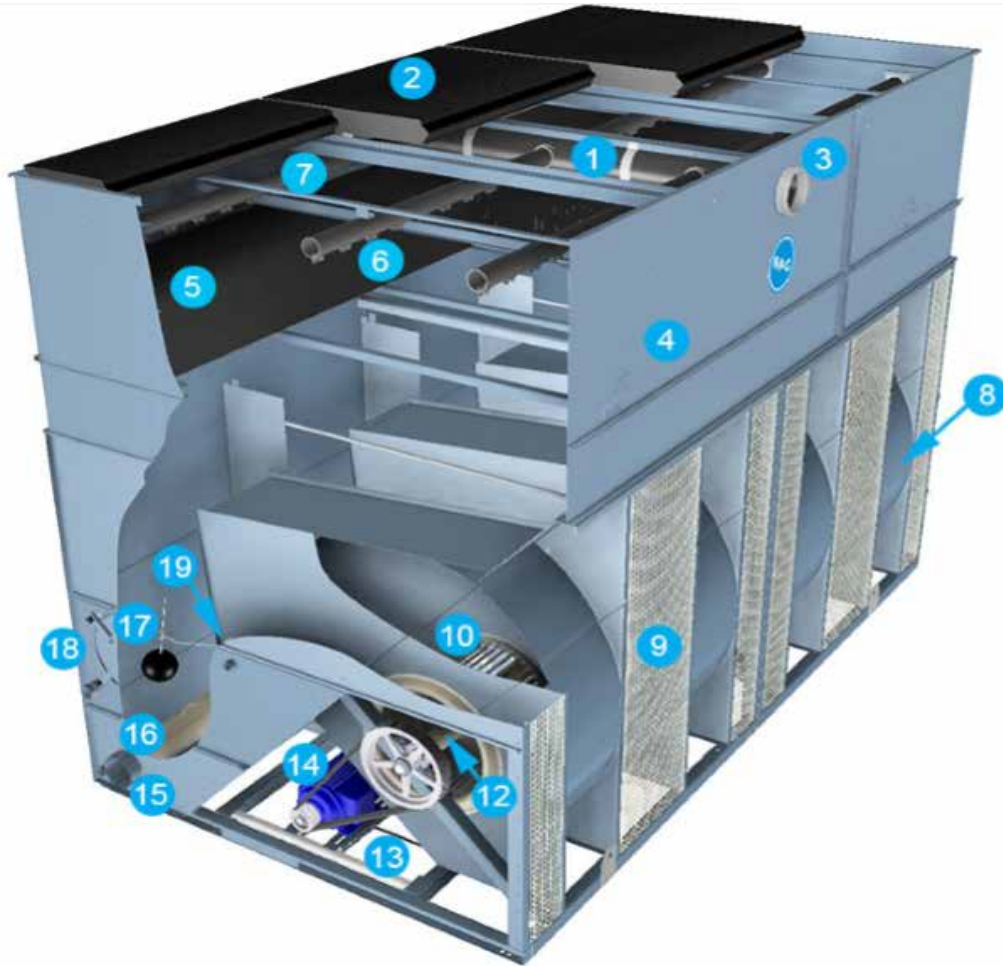
- Arias, F. (2.012). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica (6ta edición)*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias, F. G. (1.999). *El Proyecto de Investigacion*. Caracas, Venezuela: ORIAL EDICIONES
- Baltimore Aircoil Company (2.016). *Prestaciones de la torre de enfriamiento VT0-1 en condiciones estándar*. Recuperado el 8 de mayo de 2016 de http://www.baltimoreaircoil.eu/sites/BAC/files/2015_11_16_VT0_VT1_49_points_table_EU.pdf
- Carbotecnia. (2.016). *Suavizacion del agua*. Recuperado el 10 de noviembre de 2016 de <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/suavizacion-de-agua/>
- Cemeza Galvanizadora. (2.016). *Galvanizado por inmersión en caliente*. Recuperado el 21 de mayo de 2016 de <http://www.grupoh7.com/>
- Energía Nuclear. (2.016). *Definición de Ion*. Recuperado el 13 de marzo de 2016 de <https://energia-nuclear.net/definiciones/ion.html>
- Febles, N. (2.005). *Mejoras en el monitoreo de torres de enfriamiento e intercambiadores de calor*. (Informe de pasantía). Universidad Simon Bolivar. Caracas, Venezuela
- Ixtepan, G. (2.009). *Reducción del factor de ensuciamiento en intercambiadores de calor de un solo paso mediante la aplicación de un optimo tratamiento químico al agua de enfriamiento*. (Trabajo de grado). Universidad Veracruzana. Veracruz, Mexico.
- Quiminet. (2.016). *Las torres de refrigeracion o enfriamiento*. Recuperado el 15 de noviembre de 2016 de <https://www.quiminet.com/articulos/las-torres-de-refrigeracion-o-enfriamiento-15350.htm>

Scielo Proceedings. (2016). *Diseño y evaluación de torre de enfriamiento autoventiladas*. Recuperado el 6 de abril de 2017 de <http://www.proceedings.scielo.br>

Tamayo, M. (2003) *El proceso de la investigación científica*. (4ta Edición). México. Limusa Noriega Editores.

ANEXOS

Anexo A. Lista de componentes de las torres de enfriamiento modelos VT0/1



- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Colector de pulverización | 11. Deflectores entrada aire (no mostrado) |
| 2. Eliminadores de gotas | 12. Cojinetes y eje del ventilador |
| 3. Conexión de entrada de agua | 13. Tornillo regulador bancada motor |
| 4. Sección de intercambio térmico | 14. Motor del ventilador y transmisión |
| 5. Superficie de intercambio | 15. Conexión de salida de agua |
| 6. Pulverizadores | 16. Filtro |
| 7. Ramales de pulverización | 17. Flotador ajustable |
| 8. Voluta del ventilador | 18. Puerta de acceso grande |
| 9. Rejilla del ventilador | 19. Válvula llenado de agua (no mostrado) |
| 10. Ventiladores centrífugos | 20. Cubiertas de descarga del ventilador |

Anexo B. Prestaciones de la torre de enfriamiento VT0-1 en condiciones estándar

Condition Reference #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Wet Bulb °C	10	10	10	10	10	13	13	13	13	13	16	16	16	16	16	18	18	18	18	18	21	21	21	21
Range °C	6	6	6	8	8	6	6	6	8	8	6	6	6	8	8	6	6	6	8	8	6	6	6	8
Approach °C	4	6	7	4	7	4	6	7	4	7	4	6	7	4	7	4	6	7	4	7	4	6	7	4
Inlet Water Temperature °C	20	22	23	22	25	23	25	26	25	28	26	28	29	28	31	28	30	31	30	33	31	33	34	33
Outlet Water Temperature °C	14	16	17	14	17	17	19	20	17	20	20	22	23	20	23	22	24	25	22	25	25	27	28	25
Model Capacity (tse)																								
VT1 1012-01O	22,9	33,5	39,1		31,5	25,5	37,4	43,7	21,0	35,2	28,5	41,9	49,1	23,5	39,6	30,9	45,4	53,2	25,5	43,0	35,0	51,5	60,2	28,8
VT1 1012-01O-2	46,1	67,2	78,4		63,2	51,2	74,9	87,5	42,1	70,6	57,3	84,1	98,3	47,2	79,4	62,0	91,0	106,5	51,1	86,2	70,1	103,1	120,6	57,9
VT1 1012-01O-3	68,8	100,5	117,3		94,5	76,5	112,1	131,0	62,9	105,6	85,6	125,8	147,2	70,5	118,9	92,7	136,3	159,5	76,4	129,0	104,9	154,4	180,7	86,5
VT1 1012-01P	25,3	37,0	43,1	20,8	34,8	28,2	41,2	48,1	23,2	38,8	31,5	46,2	54,1	26,0	43,7	34,1	50,1	58,6	28,1	47,4	38,6	56,7	66,3	31,8
VT1 1012-01P-2	50,8	74,1	86,4	41,7	69,6	56,4	82,6	96,5	46,4	77,8	63,2	92,7	108,3	52,0	87,6	68,3	100,4	117,4	56,3	95,0	77,3	113,6	133,0	63,8
VT1 1012-01P-3	76,1	111,1	129,6	62,5	104,4	84,6	123,8	144,6	69,6	116,7	94,7	138,9	162,4	78,0	131,3	102,4	150,5	176,0	84,5	142,4	115,9	170,4	199,3	95,7
VT1 1012-02L	23,0	32,2	37,0		30,9	25,5	35,8	41,1	21,7	34,4	28,4	40,0	46,0	24,2	38,5	30,7	43,2	49,7	26,2	41,6	34,5	48,6	56,0	29,4
VT1 1012-02L-2	46,0	64,3	73,8		61,6	50,9	71,4	82,1	43,4	68,6	56,7	79,8	91,8	48,4	76,8	61,2	86,2	99,2	52,2	83,1	68,8	97,1	111,8	58,8
VT1 1012-02L-3	69,1	96,6	110,9		92,5	76,5	107,3	123,4	65,2	103,1	85,3	119,9	138,0	72,7	115,4	92,0	129,5	149,1	78,5	124,8	103,4	145,9	167,9	88,3
VT1 1012-02M	25,4	35,5	40,8	21,6	34,0	28,1	39,5	45,3	23,9	37,9	31,3	44,1	50,7	26,7	42,4	33,8	47,6	54,8	28,8	45,9	38,0	53,6	61,7	32,5
VT1 1012-02M-2	50,7	70,9	81,4	43,2	67,9	56,1	78,8	90,5	47,8	75,6	62,6	88,0	101,3	53,3	84,7	67,5	95,1	109,4	57,6	91,6	75,9	107,0	123,2	64,8
VT1 1012-02M-3	76,2	106,5	122,3	64,8	102,0	84,3	118,4	136,0	71,8	113,6	94,0	132,2	152,1	80,1	127,3	101,4	142,8	164,4	86,5	137,6	114,0	160,8	185,2	97,4
VT1 1012-02N	27,1	37,9	43,6	23,1	36,3	30,0	42,1	48,4	25,6	40,5	33,5	47,1	54,2	28,5	45,3	36,1	50,9	58,5	30,8	49,0	40,6	57,3	65,9	34,7
VT1 1012-02N-2	54,2	75,8	87,0	46,1	72,6	60,0	84,2	96,7	51,1	80,8	66,8	94,0	108,2	57,0	90,5	72,1	101,5	116,9	61,5	97,9	81,1	114,3	131,6	69,3
VT1 1012-02N-3	81,4	113,8	130,6	69,3	109,0	90,1	126,4	145,3	76,7	121,4	100,4	141,3	162,5	85,6	136,0	108,3	152,6	175,6	92,4	147,0	121,8	171,8	197,8	104,1
VT1 1012-02O	28,7	40,1	46,0	24,4	38,4	31,7	44,5	51,2	27,0	42,7	35,4	49,7	57,2	30,1	47,9	38,1	53,7	61,8	32,5	51,8	42,9	60,5	69,6	36,6
VT1 1012-02O-2	57,2	80,0	91,8	48,7	76,6	63,3	88,9	102,1	53,9	85,3	70,6	99,3	114,2	60,2	95,6	76,1	107,2	123,4	65,0	103,3	85,6	120,8	139,0	73,1
VT1 1012-02O-3	86,0	120,2	138,0	73,2	115,1	95,2	133,5	153,5	81,1	128,2	106,1	149,2	171,7	90,4	143,6	114,4	161,1	185,4	97,6	155,3	128,7	181,4	208,9	109,9
VT1 1012-02P	31,6	44,2	50,7	26,9	42,3	35,0	49,1	56,4	29,8	47,1	39,0	54,8	63,1	33,2	52,8	42,0	59,2	68,2	35,9	57,1	47,3	66,7	76,8	40,4
VT1 1012-02P-2	63,1	88,2	101,3	53,7	84,5	69,8	98,0	112,6	59,5	94,1	77,8	109,5	126,6	66,4	105,4	84,0	118,2	136,1	71,6	113,9	94,4	133,2	153,3	80,6
VT1 1012-02P-3	94,7	132,4	152,0	80,6	126,8	104,8	147,1	169,0	89,3	141,2	116,8	164,3	189,1	99,6	158,1	126,0	177,5	204,2	107,5	171,0	141,7	199,8	230,1	121,0
VT1 1012-03L	25,0	34,1	38,7	21,8	33,0	27,6	37,7	43,0	24,1	36,6	30,7	42,1	47,9	26,8	40,9	33,0	45,3	51,7	28,8	44,1	37,0	50,8	58,0	32,3
VT1 1012-03L-2	50,0	68,1	77,5	43,6	66,0	55,3	75,5	86,0	48,1	73,3	61,4	84,1	95,9	53,5	81,8	66,1	90,6	103,3	57,6	88,2	74,0	101,7	116,0	64,6
VT1 1012-03L-3	75,1	102,2	116,2	65,3	98,9	82,9	113,3	128,9	72,2	109,9	92,1	126,2	143,8	80,3	122,7	99,1	136,0	155,0	86,4	132,4	111,0	152,5	173,9	96,9
VT1 1012-03M	27,6	37,6	42,7	24,0	36,4	30,5	41,6	47,4	26,5	40,4	33,8	46,4	52,9	29,5	45,1	36,4	50,0	57,0	31,8	48,7	40,8	56,1	63,9	35,6
VT1 1012-03M-2	55,2	75,1	85,4	48,0	72,7	60,9	83,3	94,8	53,1	80,8	67,7	92,8	105,7	59,0	90,2	72,8	99,9	113,9	63,5	97,3	81,6	112,1	127,9	71,2
VT1 1012-03M-3	82,8	112,7	128,1	72,0	109,1	91,4	124,9	142,2	79,6	121,2	101,5	139,1	158,5	88,5	135,3	109,3	149,9	170,9	95,3	145,9	122,4	168,2	191,8	106,8
VT1 1012-03N	29,5	40,1	45,6	25,7	38,8	32,5	44,5	50,6	28,3	43,2	36,2	49,5	56,5	31,5	48,2	38,9	53,4	60,9	33,9	52,0	43,6	59,9	68,3	38,0
VT1 1012-03N-2	58,9	80,2	91,2	51,3	77,7	65,1	88,9	101,2	56,7	86,3	72,3	99,1	112,9	63,0	96,4	77,8	106,8	121,7	67,8	103,9	87,2	119,8	136,6	76,1
VT1 1012-03N-3	88,4	120,4	136,9	77,0	116,6	97,6	133,4	151,9	85,0	129,5	108,5	148,6	169,4	94,5	144,6	116,7	160,2	182,6	101,8	155,9	130,8	179,7	204,9	114,1
VT1 1012-03O	31,1	42,4	48,2	27,1	41,0	34,4	47,0	53,5	29,9	45,6	38,2	52,3	59,6	33,3	50,9	41,1	56,4	64,3	35,8	54,9	46,0	63,2	72,1	40,2
VT1 1012-03O-2	62,2	84,7	96,4	54,2	82,1	68,7	93,9	106,9	59,9	91,2	76,4	104,7	119,3	66,6	101,8	82,2	112,8	128,5	71,7	109,8	92,1	126,5	144,2	80,3
VT1 1012-03O-3	93,4	127,1	144,5	81,3	123,1	103,1	140,9	160,4	89,8	136,7	114,6	157,0	178,9	99,9	152,7	123,3	169,1	192,8	107,5	164,7	138,1	189,7	216,4	120,5
VT1 1012-03P	34,3	46,7	53,1	29,9	45,2	37,9	51,8	58,9	33,0	50,3	42,1	57,7	65,7	36,7	56,1	45,3	62,2	70,9	39,5	60,5	50,8	69,7	79,5	44,3
VT1 1012-03P-2	68,6	93,4	106,2	59,8	90,5	75,8	103,6	117,9	66,0	100,5	84,2	115,4	131,5	73,4	112,2	90,6	124,3	141,7	79,0	121,0	101,5	139,5	159,0	88,6
VT1 1012-03P-3	102,9	140,2	159,4	89,6	135,7	113,7	155,4	176,9	99,0	150,8	126,3	173,1	197,2	110,1	168,3	135,9	186,5	212,6	118,5	181,6	152,3	209,2	238,6	132,9
VT1 1012-03Q	36,9	50,2	57,1	32,2	48,6	40,8	55,6	63,3	35,5	54,0	45,3	62,0	70,5	39,5	60,3	48,7	66,7	76,0	42,5	65,0	54,5	74,8	85,2	47,6
VT1 1012-03Q-2	73,8	100,3	114,0	64,3	97,1	81,4	111,1	126,4	71,0	107,9	90,4	123,7	140,9	78,9	120,3	97,3	133,3	151,8	84,9	129,8	108,9	149,4	170,2	95,1
VT1 1012-03Q-3	110,7	150,5	171,0	96,5	145,8	122,2	166,8	189,7	106,5	161,9	135,7	185,7	211,4	118,4	180,6	146,0	200,0	227,8	127,4	194,7	163,4	224,2	255,5	142,7
VT1 1018-01L		45,3	52,8		42,6	34,6	50,5	58,9		47,6	38,7	56,6	66,1		53,5	41,8	61,3	71,6	34,5	58,0	47,3	69,3	81,0	39,1
VT1 1018-01M	34,4	50,0	58,2																					

Anexo B. Prestaciones de la torre de enfriamiento VT0-1 en condiciones estándar. (Continuación)

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
21	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	29	29	29	29	29	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2	21	25,56	27	28
8	6	6	6	8	8	6	6	6	8	8	6	6	6	8	8	6	6	6	8	8	5	5,56	5	5
7	4	6	7	4	7	4	6	7	4	7	4	6	7	4	7	4	6	7	4	7	6	3,88	5	4
36	34	36	37	36	39	37	39	40	39	42	39	41	42	41	44	42,2	44,2	45,2	44,2	47,2	32	35,0	37	37
28	28	30	31	28	31	31	33	34	31	34	33	35	36	33	36	36,2	38,2	39,2	36,2	39,2	27	29,44	32	32
l/s																								
48,8	39,7	58,5	68,5	32,8	55,6	45,4	66,8	78,2	37,6	63,6	49,6	73,0	85,5	41,1	69,7	57,4	84,5	98,8	47,7	80,8	59,1	43,6	63,7	53,8
97,8	79,7	117,2	137,1	65,9	111,4	90,9	133,6	156,3	75,3	127,3	99,4	146,1	170,9	82,4	139,4	115,0	168,9	197,5	95,6	161,5	118,2	87,4	127,5	107,8
146,4	119,2	175,6	205,5	98,5	166,9	136,1	200,3	234,5	112,6	190,8	148,9	219,1	256,4	123,4	209,0	172,3	253,4	296,5	143,1	242,2	177,2	130,8	191,2	161,5
53,8	43,8	64,5	75,4	36,2	61,3	50,0	73,5	86,0	41,4	70,0	54,7	80,4	94,0	45,4	76,7	63,3	92,9	108,7	52,6	88,8	65,1	48,1	70,2	59,3
107,8	87,8	129,2	151,1	72,6	122,8	100,2	147,3	172,4	83,0	140,4	109,6	161,1	188,4	90,9	153,7	126,8	186,2	217,8	105,4	178,0	130,4	96,4	140,6	118,9
161,6	131,7	193,7	226,6	108,9	184,1	150,2	220,9	258,4	124,4	210,4	164,3	241,5	282,5	136,3	230,4	190,1	279,2	326,4	158,0	266,9	195,4	144,4	210,8	178,2
46,9	39,0	55,0	63,3	33,3	53,2	44,2	62,3	71,7	37,8	60,3	48,1	67,8	78,0	41,2	65,8	55,2	77,8	89,5	47,4	75,6	54,6	42,4	59,4	51,2
93,7	77,8	109,7	126,3	66,5	106,1	88,1	124,3	143,1	75,5	120,5	96,0	135,4	155,8	82,2	131,3	110,2	155,3	178,6	94,6	150,9	109,1	84,6	118,5	102,3
140,8	116,8	164,8	189,8	99,9	159,4	132,4	186,8	215,1	113,4	181,0	144,2	203,4	234,1	123,6	197,3	165,6	233,3	268,4	142,1	226,7	163,9	127,1	178,1	153,6
51,8	42,9	60,6	69,8	36,7	58,6	48,7	68,7	79,0	41,7	66,5	53,0	74,7	86,0	45,4	72,5	60,9	85,8	98,6	52,2	83,3	60,2	46,7	65,4	56,5
103,3	85,7	121,0	139,3	73,3	117,0	97,2	137,1	157,8	83,2	132,8	105,8	149,2	171,8	90,7	144,8	121,5	171,2	197,0	104,3	166,4	120,3	93,3	130,7	112,8
155,3	128,8	181,7	209,3	110,2	175,8	146,0	206,0	237,1	125,0	199,6	159,0	224,2	258,1	136,3	217,5	182,6	257,3	295,9	156,7	250,0	180,7	140,1	196,3	169,4
55,3	45,9	64,7	74,5	39,2	62,6	52,0	73,4	84,5	44,5	71,1	56,6	79,9	91,9	48,5	77,5	65,0	91,6	105,4	55,8	89,0	64,4	49,9	69,9	60,3
110,4	91,6	129,2	148,8	78,3	125,0	103,8	146,5	168,6	88,9	141,9	113,1	159,4	183,5	96,9	154,7	129,8	182,9	210,4	111,4	177,8	128,5	99,6	139,6	120,4
165,9	137,6	194,2	223,6	117,7	187,8	156,0	220,1	253,3	133,6	213,2	169,9	239,5	275,7	145,6	232,4	195,1	274,8	316,1	167,4	267,1	193,1	149,7	209,7	181,0
58,4	48,4	68,3	78,7	41,4	66,1	54,9	77,5	89,2	47,0	75,1	59,8	84,3	97,1	51,2	81,8	68,7	96,7	111,3	58,9	94,0	68,0	52,7	73,8	63,7
116,6	96,7	136,5	157,1	82,7	132,0	109,7	154,7	178,1	93,9	149,9	119,4	168,4	193,8	102,3	163,3	137,1	193,2	222,2	117,7	187,7	135,7	105,2	147,4	127,2
175,2	145,4	205,1	236,1	124,3	198,3	164,8	232,4	267,6	141,1	225,2	179,4	253,0	291,2	153,7	245,4	206,0	290,3	333,9	176,8	282,1	203,9	158,1	221,5	191,1
64,4	53,4	75,4	86,8	45,7	72,9	60,6	85,4	98,3	51,8	82,8	65,9	93,0	107,0	56,5	90,2	75,7	106,7	122,8	65,0	103,7	74,9	58,1	81,4	70,2
128,6	106,7	150,5	173,3	91,2	145,6	120,9	170,6	196,4	103,5	165,3	131,7	185,7	213,7	112,8	180,1	151,2	213,0	249,8	129,8	207,0	149,6	116,0	162,5	140,3
193,0	160,1	225,9	260,0	136,9	218,5	181,5	256,0	294,7	155,4	248,0	197,6	278,6	320,7	169,3	270,3	226,9	319,7	373,9	194,7	310,7	224,6	174,1	243,9	210,5
49,6	41,6	57,2	65,2	36,3	55,9	46,9	64,5	73,6	41,0	63,1	50,9	70,0	79,8	44,5	68,5	58,1	79,8	91,0	50,9	78,3	56,5	45,0	61,5	53,7
99,2	83,2	114,4	130,5	72,7	111,7	93,8	129,0	147,2	82,0	126,2	101,8	140,0	159,6	89,0	137,0	116,2	159,7	182,1	101,7	156,5	112,9	90,0	122,9	107,3
148,7	124,8	171,6	195,7	109,0	167,6	140,7	193,6	220,8	123,0	189,3	152,7	210,0	239,5	133,5	205,5	174,2	239,5	273,1	152,6	234,8	169,4	134,9	184,4	161,0
54,7	45,9	63,1	71,9	40,1	61,6	51,7	71,1	81,1	45,2	69,6	56,1	77,2	88,0	49,1	75,5	64,0	88,0	100,4	56,1	86,3	62,3	49,6	67,8	59,2
109,3	91,7	126,1	143,9	80,1	123,2	103,5	142,3	162,3	90,4	139,2	112,2	154,4	176,0	98,2	151,1	128,1	176,1	200,7	112,2	172,6	124,5	99,2	135,5	118,4
164,0	137,6	189,2	215,8	120,2	184,8	155,2	213,4	243,4	135,6	208,7	168,4	231,5	264,0	147,2	226,6	192,1	264,1	301,1	168,2	258,9	186,8	148,8	203,3	177,5
58,4	49,0	67,4	76,8	42,8	65,8	55,3	76,0	86,7	48,3	74,3	60,0	82,4	94,0	52,4	80,7	68,4	94,1	107,2	59,9	92,2	66,5	53,0	72,4	63,2
116,8	98,0	134,8	153,7	85,6	131,6	110,5	152,0	173,4	96,6	148,6	119,9	164,9	188,0	104,9	161,4	136,8	188,1	214,4	119,8	184,4	133,0	106,0	144,8	126,4
175,2	147,0	202,1	230,6	128,4	197,4	165,8	228,0	260,1	144,9	223,0	179,9	247,3	282,1	157,3	242,1	205,3	282,2	321,7	179,7	276,6	199,6	158,9	217,2	189,7
61,7	51,8	71,2	81,2	45,2	69,5	58,4	80,3	91,5	51,0	78,5	63,3	87,1	99,3	55,4	85,2	72,3	99,3	113,2	63,3	97,4	70,3	56,0	76,5	66,8
123,3	103,5	142,3	162,3	90,4	139,0	116,7	160,5	183,1	102,0	157,0	126,6	174,1	198,6	110,7	170,5	144,5	198,7	226,5	126,5	194,7	140,5	111,9	152,9	133,5
185,0	155,3	213,5	243,5	135,6	208,5	175,1	240,8	274,6	153,0	235,5	190,0	261,2	297,9	166,1	255,7	216,8	298,0	339,7	189,8	292,1	210,8	167,9	229,4	200,3
68,0	57,1	78,5	89,5	49,8	76,6	64,4	88,5	100,9	56,2	86,5	69,8	96,0	109,5	61,1	94,0	79,7	109,5	126,5	69,8	107,3	77,5	61,7	84,3	73,6
136,0	114,1	156,9	179,0	99,7	153,3	128,7	177,0	201,9	112,5	173,1	139,6	192,0	219,0	122,1	188,0	159,3	219,1	253,9	139,5	214,7	154,9	123,4	168,6	147,2
204,0	171,2	235,4	268,5	149,5	229,9	193,1	265,5	302,8	168,7	259,7	209,4	288,0	328,5	183,2	281,9	239,0	328,6	373,9	209,3	322,1	232,4	185,1	252,9	220,8
73,0	61,3	84,1	95,9	53,5	82,2	69,1	94,8	108,1	60,4	92,7	74,9	102,8	117,2	65,5	100,6	85,4	117,2	136,2	74,8	114,9	83,0	66,2	90,3	78,9
145,7	122,4	168,0	191,5	106,9	164,1	137,9	189,4	215,8	120,6	185,2	149,6	205,3	234,0	130,9	201,0	170,6	234,1	273,9	149,4	229,5	165,9	132,3	180,4	157,7
218,7	183,7	252,1	287,4	160,5	246,2	207,0	284,2	323,9	181,0	278,0	224,5	308,2	351,2	196,4	301,7	256,0	351,3	401,1	224,3	344,4	248,9	198,5	270,8	236,6
65,8	53,6	78,7	91,9	44,4	74,8	61,1	89,7	104,8	50,7	85,4	66,8	98,0	114,4	55,5	93,5	77,2	113,1	132,1	64,3	108,2	79,4	58,8	85,6	72,4
72,5	59,2	86,8	101,4	49,0	82,5	67,4	98,9	115,5	55,9	94,2	73,7	108,0	126,2	61,2	103,1	85,2	124,7	145,7	70,9	119,3	87,5	64,9	94,4	79,9
77,5	63,2	92,7	108,3	52,3	88,1	72,0	104,0	123,4	59,7	100,6	78,7	115,4	134,8	65,4	110,1	91,0	133,2	155,6	75,7	127,4	93,5	69,3	100,8	85,3
81,8	66,7	97,9	114,4	55,3	93,1	76,1	111,5	130,3	63,1	106,3	83,1	121,8	142,3	69,0	116,3	96,1	140,7	164,3	79,9	134,6	98,8	73,2	106,5	90,1
78,7	65,2	92,1	106,1	55,8	89,1	74,0	104,4	120,2	63,3	101,2	80,6	113,7	130,9	69,0	110,3	92,5	130,5	150,1	79,4	126,8	91,6	71,0	99,5	85,8
86,7	71,9	101,6	117,0	61,5	98,2	81,6	115,1	132,6	69,8	111,6	88,8	125,4	144,3	76,1	121,6	102,0	143,9	165,5	87,5	139,8	101,0	78,2	109,7	94,6
92,7	76,9	108,5	125,0	65,7	104,9	87,1	123,0	141,7	74,6	119,2	94,9	133,9	154,2	81,3	129,9	109								

Anexo C. Norma ASTM A123



Designation: A 123/A 123M – 02

Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products¹

This standard is issued under the fixed designation A 123/A 123M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers the requirements for zinc coating (galvanizing) by the hot-dip process on iron and steel products made from rolled pressed and forged shapes, castings, plates, bars, and strips.

1.2 This specification covers both unfabricated products and fabricated products, for example, assembled steel products, structural steel fabrications, large tubes already bent or welded before galvanizing, and wire work fabricated from uncoated steel wire. This specification also covers steel forgings and iron castings incorporated into pieces fabricated before galvanizing or which are too large to be centrifuged (or otherwise handled to remove excess galvanizing bath metal).

NOTE 1—This specification covers those products previously addressed in Specifications A 123-78 and A 386-78.

1.3 This specification does not apply to wire, pipe, tube, or steel sheet which is galvanized on specialized or continuous lines, or to steel less than 22 gage (0.0299 in.) [0.76 mm] thick.

1.4 The galvanizing of hardware items that are to be centrifuged or otherwise handled to remove excess zinc (such as bolts and similar threaded fasteners, castings and rolled, pressed and forged items) shall be in accordance with Specification A 153/A 153M.

1.5 Fabricated reinforcing steel bar assemblies are covered by the present specification. The galvanizing of separate reinforcing steel bars shall be in accordance with Specification A 767/A 767M.

1.6 This specification is applicable to orders in either inch-pound units (as A 123) or SI units (as A 123M). Inch-pound units and SI units are not necessarily exact equivalents. Within the text of this specification and where appropriate, SI units are shown in parentheses. Each system shall be used independently of the other without combining values in any way. In the case of orders in SI units, all testing and inspection

shall be done using the metric equivalent of the test or inspection method as appropriate. In the case of orders in SI units, such shall be stated to the galvanizer when the order is placed.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 47/A 47M Specification for Ferritic Malleable Iron Castings²
- A 90/A 90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings³
- A 143 Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement³
- A 153/A 153M Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware³
- A 384/A 384M Practice for Safeguarding Against Warpage and Distortion During Hot-Dip Galvanizing of Steel Assemblies³
- A 385 Practice for Providing High-Quality Zinc Coatings (Hot-Dip)³
- A 767/A 767M Specification for Zinc-Coated Galvanized Steel Bars for Concrete Reinforcement⁴
- A 780 Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings³
- A 902 Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products³
- B 6 Specification for Zinc⁵
- B 487 Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thicknesses by Microscopical Examination of a Cross Section⁶
- B 602 Test Method for Attribute Sampling of Metallic and Inorganic Coatings⁶
- E 376 Practice for Measuring Coating Thickness by

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A05 on Metallic Coated Iron and Steel Products and is the direct responsibility of Subcommittee A05.13 on Structural Shapes and Hardware Specifications.

Current edition approved October 10, 2002. Published December 2002. Originally published as A 123 – 28 T. Last previous edition A 123 – 01a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.06.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.04.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.04.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.05.

Anexo D. Norma ASTM A153



Designation: A 153/A 153M – 03

American Association State Highway
and Transportation Officials Standard
AASHTO No. M232

Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware¹

This standard is issued under the fixed designation A 153/A 153M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers zinc coatings applied by the hot-dip process on iron and steel hardware.

1.2 This specification is intended to be applicable to hardware items that are centrifuged or otherwise handled to remove excess galvanizing bath metal (free zinc). Coating thickness grade requirements reflect this.

1.3 This specification is applicable to orders in either inch-pound units (as A 153) or in SI units (as A 153M). Inch-pound units and SI units are not necessarily exact equivalents. Within the text of this specification and where appropriate, SI units are shown in brackets. Each system shall be used independently of the other without combining values in any way. In the case of orders in SI units, all testing and inspection shall be done using the metric equivalent of the test or inspection method as appropriate. In the case of orders in SI units, such shall be stated to the galvanizer when the order is placed.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 90/A 90M Test Method for Weight of Coating on Zinc-Coated (Galvanized) Iron or Steel Articles²
- A 143 Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement²
- A 385 Practice for Providing High-Quality Zinc Coatings (Hot-Dip)²
- A 780 Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings²

A 902 Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products²

B 6 Specification for Zinc (Slab Zinc)³

B 487 Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thicknesses by Microscopical Examination of a Cross Section⁴

B 602 Test Method for Attribute Sampling of Metallic and Inorganic Coatings⁴

E 376 Practice for Measuring Coating Thickness by Magnetic-Field or Eddy-Current (Electromagnetic) Test Methods⁵

F 1470 Guide for Fastener Sampling for Specified Mechanical Properties and Performance Inspection⁶

F 1789 Terminology for F16 Mechanical Fasteners⁶

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 The following terms and definitions are specific to this specification. Terminology A 902 contains other terms and definitions relating to metallic-coated steel products. Terminology F 1789 contains other terms and definitions relating to mechanical fasteners.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *average coating thickness, n* —the average of the specimen coating thickness values for the samples in an inspection lot.

3.2.2 *bare spots, n* —uncoated areas on the surface of the steel part that contain no measurable zinc coating.

3.2.3 *cross inclusions, n* —the iron/zinc intermetallics present in a galvanized coating in a form other than the layer growth of the coating.

3.2.4 *individual measurement, n* —the reading from a magnetic thickness gauge of a single coating spot thickness, or the microscopic reading of a coating thickness as seen in an optical microscope at one spot.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A05 on Metallic-Coated Iron and Steel Products and is the direct responsibility of Subcommittee A05.13 on Structural Shapes and Hardware Specifications.

Current edition approved April 10, 2003. Published May 2003. Originally approved in 1933. Last previous edition approved in 2002 as A 153/A 153M – 02.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.06.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.04.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.05.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.08.

Anexo E. Programa recomendado de mantenimiento y supervisión

Comprobaciones y ajustes	Puesta en marcha	Semanalmente	Mensualmente	Trimestralmente	Cada seis meses	Anualmente	Parada
Balsa de agua fría y filtro	X			X			
Nivel de funcionamiento y llenado	X		X				
Purga	X		X				
Paquete de resistencia de balsa	X				X		
Tensión de la correa	X		X				
Alineación de la transmisión	X					X	
Collarín de fijación	X				X		
Giro de ventilador(es) y bomba(s)	X						
Tensión e intensidad del motor	X					X	
Ruido anómalo y/o vibración	X		X				

Inspecciones y supervisión	Puesta en marcha	Semanalmente	Mensualmente	Trimestralmente	Cada seis meses	Anualmente	Parada
Aspecto general	X		X				
Sección de transferencia de calor	X				X		
Eliminadores de gotas	X				X		
Distribución de agua	X				X		
Eje del ventilador	X			X			
Motor del ventilador	X			X			
Conjunto de control eléctrico del nivel de agua (opcional)	X				X		

**Anexo E. Programa recomendado de mantenimiento y supervisión.
(Continuación)**

Inspecciones y supervisión	Puesta en marcha	Semanalmente	Mensualmente	Trimestralmente	Cada seis meses	Anualmente	Parada
Prueba TAB (tiras reactivas)	X	X					
Calidad del agua en circulación	X		X				
Revisión del sistema	X					X	
Registro	en cada ocasión						

Lubricación	Puesta en marcha	Semanalmente	Mensualmente	Trimestralmente	Cada seis meses	Anualmente	Parada
Rodamientos del eje del ventilador	X				X		X
Cojinetes del motor *	X				X		
Bancada de motor regulable	X				X		X

* solamente para motores con engrasadores con un tamaño de motor típico > 200L (> 30 kW)

Procedimientos de limpieza	Puesta en marcha	Semanalmente	Mensualmente	Trimestralmente	Cada seis meses	Anualmente	Parada
Limpieza mecánica	X					X	X
Desinfección **	(X)					(X)	(X)
Balsa de desagüe							X

** depende del código de prácticas aplicado