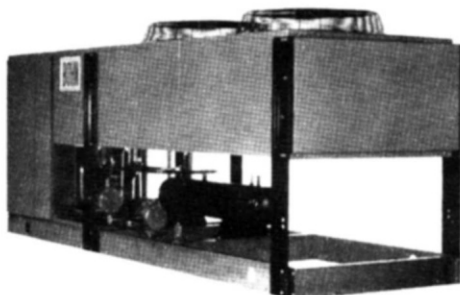
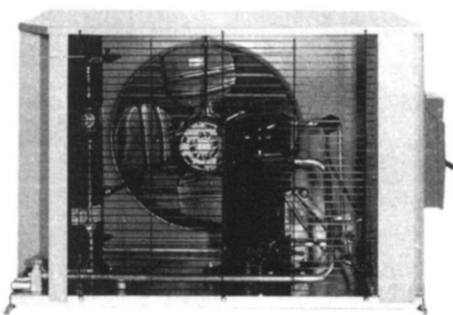
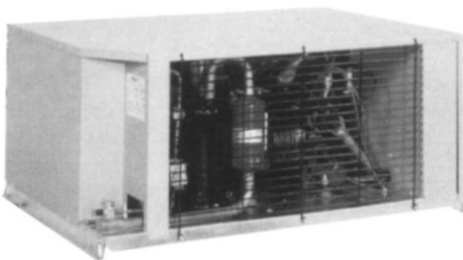
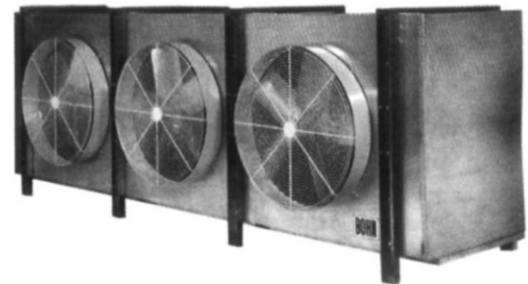
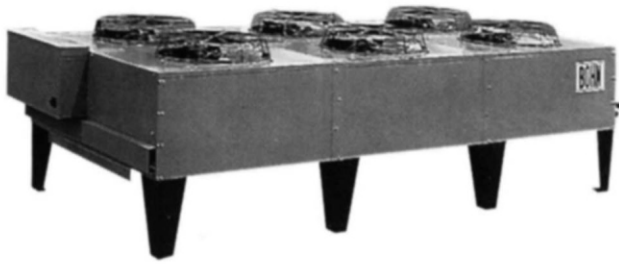




El Estándar del Frío

# BOLETIN DE INGENIERIA DE APLICACION



## LA CORROSION Y MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA LA CORROSION.

TEMA	PAG.
•Tipos de Corrosión .....	2, 3
•Métodos del Revestimiento .....	3
•Baño del Revestimiento .....	3, 4
•Recubrimientos Electrostáticos .....	4, 5
•Conversión de Recubrimientos .....	5
•Galvanizado y Otros Recubrimientos .....	5
•Materiales .....	5, 6, 7
•Resumen .....	7

# La Corrosión y Medidas de Protección Contra la Corrosión

La mayoría de los materiales en ciertas condiciones o aplicaciones experimentarán corrosión. ¿Qué es la corrosión? ¿Qué causa la corrosión? ¿Qué se puede hacer para disminuir o eliminar ésta?

## Tipos de Corrosión

No toda la corrosión es idéntica o causada bajo las mismas condiciones. El tipo más común de corrosión es la galvánica. Este tipo de corrosión es la que genera la energía en una batería común de celda seca (o galvánica).

Tres cosas deben estar presentes para que ocurra la corrosión galvánica: dos metales diferentes en contacto, un potencial eléctrico, y un electrolito. En la industria HVACR, esta condición ocurre con los tubos de cobre y aletas de aluminio (un serpentín) y agua salada (ya sea en los caminos o en las costas). Esto normalmente no ocurre en los evaporadores porque el condensado (agua pura) normalmente no es eléctricamente conductora. Cada metal se sabe que es conocido como “potencial eléctrico” ó “reactividad” (que tan fácil reaccionará éste con ó al ser reemplazado por otros metales). Si dos metales están muy apartados en potencial eléctrico, estos reaccionarán fácilmente juntos. Si estos están juntos, estos no reaccionarán fácilmente. Para reactividad, ver Tabla 1.

Los metales en la parte superior de la tabla 1 (anódicos) son fácilmente reactantes. En una situación galvánica, el metal más reactante (anódico) es el único que es sacrificado (corroído).

Esto es, en un serpentín con tubo de cobre y aletas de aluminio, las aletas de aluminio son sacrificadas. También, el área superficial de mayor radio del metal reactivo a el área superficial del metal pasivo, la reacción disminuye. A la inversa, si el radio es pequeño la reacción incrementa rápidamente. Esta es la razón porque una pieza pequeña de un tubo de

**Tabla 1: Aleaciones Comunes de las Series Galvánicas**

<u>Anódico (más reactivo)</u>
Magnesio
Aleaciones de Magnesio
Zinc
Aluminio 1100
Cadmio
Aluminio 2017-T
Acero al Carbón
Hierro Fundido
Acero al Cromo 4-30% (AISI 403-446) - A
Acero al Cromo 17-25%, Ni 7-12% (AISI 301-308) - A
Acero al Molibdeno 3%, Cr 18%, Ni 12% (AISI 316-317) - A
Soldadura Plomo-Estaño
Plomo
Estaño
Níquel - A
Inconel - aleación (Ni 80%, Cr 13%, Hierro 6.5%)
Latón
Cobre
Bronces
Cobre-Níquel
Monel (Ni-Cu)
Níquel - P
Inconel - P
Aceros Inoxidables (todos) - P
Plata
Grafito
<u>Catódico (el menos Reactivo)</u>
Oro
A.- activo; P - pasivo

acero al carbón no debe ser soldado entre un serpentín de y un tubo de cobre/sistema de tubería. Esta es también la razón porque un material anódico con revestimiento a veces falla más rápidamente que un material sin revestimiento. El revestimiento a veces tiene “superficie pasada por alto” o “partes con picaduras” donde la corrosión galvánica comenzará. Gran parte de las áreas superficiales más pequeñas se corroen más rápido que los objetos sin revestimiento y fallan más pronto.

Si una superficie anódica es revestida, el revestimiento debe estar libre de “superficies pasadas por alto” y “superficies con picaduras”, etc.

La corrosión química ocurre cuando dos componentes o elementos reaccionan químicamente. La oxidación de los metales ó a veces el pintado es una corrosión química. La línea de pinturas es actualmente de oxidación. Otros ejemplos comunes de oxidación son sedimentos del acero o el hierro, los compuestos de amoníaco reaccionan con el cobre, y el ácido reacciona con el acero al carbón (las cuestiones mencionadas arriba se discutirán posteriormente). Desde que las reacciones químicas duplican el porcentaje en reacción para cada 10° F - 5.5°C de incremento de temperatura, esto facilita entender porque la corrosión química a temperaturas altas puede ser rápidamente muy destructiva.

Rotura por Esfuerzo de Corrosión (REC), normalmente tiene tres prerequisites para su desarrollo: (1) *Esfuerzo de Tensión* - Este puede ser esfuerzo residual desde operaciones de fabricación o aplicadas a través de las condiciones normales de operación del equipo. El material puede ser cobre o aleaciones de cobre, aleaciones de níquel, acero inoxidable, etc.; (2) *Especies Corrosivas* - Aún cuando existe un número de componentes iónicos los cuales actuarán como el corroyente, el ion del

cloruro es el más común, otros son nitratos, amoníaco, mercurio, etc. Un ejemplo es la atención reciente de la Rotura por Esfuerzo de Corrosión (REC) en tuberías de cobre causada por un aislamiento específico en la presencia de mezcla y oxígeno; (3) *Temperatura* - Temperaturas arriba de 140° F - 60° C son normalmente requeridas para Rotura por Esfuerzo de Corrosión (REC). La mejor forma para reducir el (REC) es eliminar la presencia de los causantes químicos de la (REC).

Algunas veces ciertos materiales deben ser usados aún cuando estos puedan corroer anticipadamente la aplicación o el ambiente. Bajo estas condiciones los materiales son protegidos del ambiente mediante el aislamiento del material(es) a través del revestimiento o recubrimiento.

## Métodos del Revestimiento

### Baño del Revestimiento

Uno de los métodos más ampliamente usados para el revestimiento de los serpentines es el baño completo - donde el ensamble completo del serpentín es sumergido en el revestimiento, ya sea solvente ó a base de agua. El revestimiento de líquido convencional debe mojar la substancia base para obtener una buena adhesión.

La electroacumulación (capa “E”) requiere una superficie “limpia”. Esta limpieza requiere de un proceso de multi-etapas previo al recubrimiento-E. La substancia base esta cargada positiva o negativamente y el líquido es la carga opuesta. La substancia base es enjuagada y entonces horneada para curar el recubrimiento. La capa-E de los recubrimientos proporciona una excelente adhesión y resistencia a la corrosión, pero estos son caros

(materiales y funcionamiento del equipo). La disminución del rendimiento del serpentín varía, tomando en cuenta desde un desgaste en parte notorio hasta uno de mayor magnitud, debido al tipo de resina (varias conductividades térmicas) y espesor del revestimiento.

Uno de los mejores baños de revestimiento es el epóxico. El recubrimiento epóxico (moderado por su alto precio) tiene excelentes propiedades de adhesión y resistencia a la corrosión, pero son a veces quebradizos. Los epóxicos son normalmente recubrimientos en dos partes que tienen una vida muy corta. Estos también son típicamente muy delgados. Los epóxicos pueden causar una notable reducción del funcionamiento del serpentín debido al espesor del revestimiento y a la baja conductividad térmica.

Los recubrimientos fenólicos (precio moderado) proporcionan una excelente adhesión y resistencia química (excepto contra alcalinos (base) y cloruros) con un espesor medio de la película. Los fenólicos son normalmente muy delgados y difíciles de aplicar a los serpentines aletados. Lo escrito aquí es un ejemplo del recubrimiento fenólico. El funcionamiento del serpentín es ligeramente mejor que con los recubrimientos epóxicos.

Un recubrimiento de esmalte se cura con un enlace químico cruzado de base resina. Este tratamiento se inicia normalmente con altas temperaturas o con mezcla. Los esmaltes no son solubles una segunda vez en su solvente original después del tratamiento de cura. Los esmaltes -un recubrimiento a precio moderado- proporciona beneficios para una excelente adhesión, intemperización y resistencia química dependiendo de la base de la resina (normalmente poliéster o poliuretano con delgado a medio espesor de película). Los esmaltes reducen el funcionamiento del serpentín menos que los epóxicos o los fenoles debido a que es más delgado

el espesor del recubrimiento y más alta la conductividad Térmica.

Los acrílicos y alquidos proporcionan buena protección, contra la corrosión a un costo moderado. Los acrílicos proporcionan excelentes características de intemperización, adhesión, resistencia a la corrosión y dureza.

Los alquidos proporcionan buenas características de intemperización, bajo costo, facilidad de aplicación y películas delgadas. Los acrílicos y alquidos tienen efectos similares en el funcionamiento del serpentín como lo hacen los esmaltes.

### **Recubrimientos Electroestáticos**

Como los recubrimientos -E, la sustancia base está cargada positiva o negativamente y el recubrimiento está cargado opuestamente. El recubrimiento puede ser un líquido o polvo, pero está rociado sobre la sustancia base. Los recubrimientos electrostáticos presentan dificultad para cubrir superficies con configuración irregular, tal como entre aletas. Este es el "efecto Faraday". Por lo tanto, los recubrimientos electrostáticos no son recomendados para protección contra corrosión donde el "efecto Faraday" puede ser un problema. La sustancia base cubierta o bañada es entonces horneada para curar el recubrimiento. Como en los recubrimientos- E, los sistemas electrostáticos requieren de un proceso de limpieza de múltiples etapas, pero proporciona una excelente adhesión y resistencia a la corrosión. Sin embargo, estos son caros (materiales y equipo de operación) y no proporcionan una cobertura completa dentro del aletado de los serpentines.

Las aplicaciones de recubrimiento con polvo también requieren de limpieza, humedad ambiental controlada. Los recubrimientos electrostáticos

pueden ser sistemas fenol, esmalte, acrílico o resina de base alquil.

### **Conversión de Recubrimientos**

La conversión de los recubrimientos puede ser clasificada como uniformemente resistente a la corrosión. Los recubrimientos están formados de metal base por reacción química con algún otro material. El óxido natural de aluminio que se forma de la intemperización del aluminio es un ejemplo, pero no está considerada una conversión de recubrimiento debido a lo extenso del tiempo requerido para la reacción química. Algunos ejemplos son, irradiación, anodización, etc. del aluminio. Estos son procesos similares para crear un recubrimiento de óxido de aluminio sobre una superficie de aluminio. Debido al proceso involucrado, solo el aluminio puede ser anodizado. Por lo tanto, las aletas de aluminio deben ser anodizadas antes de ensamblar el serpentín.

### **Galvanizado y Otros Recubrimientos**

El galvanizado del acero al carbón es un recubrimiento sacrificado- el recubrimiento es aplicado al acero para ser sacrificado en lugar de que el acero sea corroído. La cantidad de recubrimiento esta designada por G60, G90, etc. para especificar la cantidad de zinc (galvanizado) en onzas/Pie<sup>2</sup> de placa (incluyendo ambos lados de la placa metálica). A mayor cantidad de zinc presente, mayor es la resistencia a la corrosión. Sin embargo, desde que las reacciones químicas se duplican en un porcentaje de reacción para cada 10° F de incremento de temperatura y desde que las condiciones son raramente consistentes, no se debe considerar dos veces la cantidad de zinc como la última opción que proporcionará la mejor resistencia a la corrosión.

## **Materiales**

Los metales normalmente usados para la fabricación de serpentines son aluminio, cobre, cobre-níquel, acero al carbón y acero-inoxidable. Ciertas condiciones debe ser evitadas para cada uno de ellos.

El aluminio será corroído cuando existan condiciones galvánicas con los otros metales, especialmente con el cobre o cobre-níquel, puesto que el aluminio es un metal activo. También el aluminio debe evitarse en ambientes altamente alcalinos o ácidos debido a la corrosión química. Pero debido a su naturaleza ocurre una protección contra el óxido, el aluminio es ampliamente usado en la industria del HVACR. Este puede ser usado con seguridad con aire, agua, ambientes ligeramente alcalinos o ácidos. Este también puede ser usado con cobre en ambientes secos o mojados si no esta presente un electrólito corrosivo.

El cobre o cobre-níquel normalmente no serán corroídos cuando estén presentes condiciones galvánicas puesto que estos son metales pasivos. Sin embargo, el amoníaco, aminos, ácidos fuertes, sulfuros y bióxido de carbono húmedo son muy corrosivos con el cobre.

El cobre, es un metal suave que está sujeto a erosionarse con las sustancias abrasivas. Aún el agua a velocidades mayores de 6 Pies/seg. puede desgastar el cobre. El cobre y el cobre-níquel pueden ser usados con refrigerante, agua, aceite o aire de servicio tanto tiempo como la velocidad no sea excesiva. El cobre puede ser usado también en ambientes poco ácidos.

El acero al carbón es normalmente usado con amoníaco, pero este es muy susceptible a la rotura por esfuerzo de corrosión, especialmente en ambientes de cloruros. Los aceros inoxidables están

normalmente divididos en tres grupos: austenítico (AISI series 200 y 300); ferrítico (AISI series 400); y martensítico (también series AISI 400).

Los aceros inoxidable austeníticos no son magnéticos y son usados donde la resistencia a la corrosión y la tenacidad son los requerimientos primarios. Las aleaciones ferríticas son magnéticas y son usadas típicamente donde se requiere resistencia a la corrosión moderada y donde la tenacidad no es un requerimiento mayor.

Estas aleaciones son también usadas donde la REC por cloruro puede ser un problema debido a que estas tienen una alta resistencia a este tipo de falla por corrosión. Los aceros martensíticos están en las series AISI 400 y son también magnéticos. Estos son menos resistentes a la corrosión que las clases austenítico o ferrítico. Los aceros inoxidable martensíticos son usados donde la resistencia y la dureza son la primera importancia y donde el ambiente es relativamente dulce o suave desde el punto de vista corrosivo. Todos los aceros inoxidable están sujetos a corrosión en un ambiente libre de oxígeno, REC, e hidrógeno a quebradizador.

Tabla 2: Material/Condición de Compatibilidad	
Material	Condiciones/Ambientes a Evitar
<b>Aluminio</b>	<p>&gt; 400° F (El metal comienza a ablandarse y el aletado pierde adherencia).</p> <p>Aluminio fundido o derretido sobre cobre (el cobre se corroe fácilmente y comienza a presentar fuga).</p> <p>Acidos fuertes; Alcalinos fuertes.</p> <p>Condiciones galvánicas.</p>
<b>Cobre</b>	<p>&gt; 400° F (El metal comienza a oxidarse - se forma óxido de cobre negro).</p> <p>Químicos corrosivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Amoniaco &amp; compuestos de amoniaco.</li> <li>Acidos fuertes.</li> <li>Sulfuro o compuestos de sulfuro.</li> <li>Combinación de cloruros, sulfuros (o sulfatos) y hierro.</li> <li>Algunos gases (bióxido de carbono, monóxido de carbono, bióxido de sulfuro, sulfuro de hidrógeno) con agua.</li> </ul> <p>&gt; Flujo de agua a 6 Pies/seg. (erosivo).</p> <p>Galvalume (ocasiona corrosión al cobre).</p>
<b>Cobre Níquel</b>	> Flujo de agua a 8 Pies/seg. (erosivo).
<b>Acero al carbón</b>	<p>Acido fuerte; cloruros.</p> <p>Tubos de cobre y tubería de cobre - (corrosión galvánica).</p> <p>Oxígeno o bióxido de carbono disuelto en el agua o vapor.</p>
<b>Aceros inoxidable</b>	<p>Cloruros - (Rotura por esfuerzo de corrosión).</p> <p>Ambientes libres de oxígeno.</p> <p>Libre de hidrógeno.</p>

Los aceros inoxidable super o duplex (doble) han sido desarrollados para ambientes extremadamente corrosivos. Estas aleaciones han aumentado su nivel de cromo, níquel y molibdeno. Por ejemplo, Aleación AL 29-4C ha sido desarrollada para condensación en la industria de hornos, de ambiente altamente corrosivo en alta temperatura.

### **Resumen**

La tabla 2 muestra un resumen de las condiciones y/o ambientes que se deben evitar para ciertos metales.

Aunque muchos ambientes han sido mencionados que son seguros o que deben evitarse cada aplicación debe ser evaluada individualmente.

Ligeros cambios en ambientes, tal como agregar o combinar ciertos iones o químicos, pueden afectar drásticamente la corrosión y el porcentaje de corrosión de los materiales de los sistemas. El cliente debe estar consiente de la aplicación y del ambiente, además debe comunicar esto al fabricante.

Para proporcionar un máximo de asistencia al cliente/diseñador, los representantes de ventas deben estar consientes de las diferentes condiciones y ambientes que pueden afectar a los diferentes materiales dentro de un serpentín o sistema. Esto normalmente significa que el representante debe conocer más acerca del sistema y su ambiente y no solamente sobre las presiones y temperaturas de funcionamiento.



*La fotografía presentada arriba muestra los efectos de la corrosión sobre una de las cabeceras del serpentín*



GRUPO FRIGUS THERME  
REGISTRO ISO 9001  
No. DE ARCHIVO: A5405

## FRIGUS BOHN S.A. de C.V.

---

Ventas: Bosques de Alisos No. 47-A 5o. Piso Col. Bosques de las Lomas C.P. 05120  
México, D.F. Tel.: (0155) 5261-81-00 Fax: (0155) 5259-55-21 Tel. Sin Costo: 01-800-50-970-00  
Planta: Acceso II Calle 2 No. 48 Parque Industrial Benito Juárez Querétaro, Qro. C.P. 76120  
Tel.: (01442) 238-45-00 Fax: (01442) 217-06-16 Tel. Sin Costo: 01-800-40-049-00