



Por Bruce I. Nelson, P.E., President, Colmac Coil Manufacturing, Inc.

COMPARANDO LA CONSTRUCCIÓN DE EVAPORADORES DE AMONIACO: “¿Cual es el mejor?”

Abstracto

Fabricantes de evaporadores industriales de amoniaco ofrecen varios tipos de construcción entre los que están: acero galvanizado, tubos de acero inoxidable con aletas de aluminio, tubos de acero inoxidable con aletas de acero inoxidable y tubos de aluminio con aletas de aluminio, así también, un variado número de protecciones contra corrosión. Tratando de decidir cual es mejor para cierta instalación y/o proceso puede ser confuso y aparece esta pregunta “Cual es el mejor para mi aplicación” Los metales utilizados en cada tipo de construcción mencionados anteriormente, tienen propiedades únicas que afectan al evaporador en términos de rendimiento térmico, el peso, la energía de descongelación, resistencia a la corrosión, y el costo. El buen desempeño y la eficiencia energética tienen un efecto directo positivo sobre la rentabilidad de la inversión para la instalación. El peso de los evaporadores puede afectar a la estructura del techo del edificio en el caso de unidades montadas sobre el mismo, especialmente en las zonas de alta sismicidad. En las plantas de procesamiento de alimentos donde los productos químicos de limpieza agresivos están siendo cada vez más utilizados en los evaporadores, el comportamiento apropiado a la resistencia a la corrosión es crítico. El artículo analiza los diferentes tipos de construcción y sus características y hace recomendaciones sobre qué tipo de construcción mejor se adapta a las aplicaciones específicas y entornos operativos

Antecedentes

Evaporadores de refrigeración (“enfriadores de aire”) que se utilizan en los sistemas de amoniaco han sido hechos tradicionalmente usando acero al carbono galvanizado (recubierto de zinc). Hay otros metales que exhiben una excelente compatibilidad con amoniaco, incluyendo acero inoxidable y aluminio.

Los diseñadores e instaladores de evaporadores industriales de amoniaco deben preocuparse por el costo, peso, rendimiento y fiabilidad de los equipos que se especifican. Además, puede haber requisitos para las características de resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza, y descongelación, que deben ser considerados

El aluminio es una buena opción tanto para los tubos y las aletas. La superficie del metal se encuentra naturalmente pasiva (la capa protectora de óxido se estabiliza) cuando el amoniaco es directamente expuesto lo que conduce a su uso generalizado para el amoniaco contenido en recipientes, tuberías y capilares. Las propiedades del aluminio también hacen que sea un metal ideal para utilizarse como material de la aleta. El aluminio es de bajo costo, resistente ligero, altamente conductivo y resistente a la corrosión.

Algunas de las propiedades del acero inoxidable hacen que sea una excelente elección para los tubos en intercambiadores de calor de amoniaco. Tiene una resistencia a la tensión muy alta, lo que resulta en altas presiones de trabajo. El acero inoxidable es altamente resistente a la corrosión con lo que minimiza el potencial de fugas de amoniaco en entornos hostiles. Es fácilmente disponible comercialmente y se utiliza ampliamente en las industrias de procesamiento de alimentos para tuberías, recipientes y equipo. También se reparan fácilmente en el campo por medio de soldadura.

Los aspectos negativos de la utilización de acero inoxidable en los intercambiadores de calor son su alto costo relativo y la conductividad térmica muy baja. Estas características negativas pueden ser mitigadas mediante:

- a) especificar el espesor de pared de la tubería para que coincida con la presión de trabajo requerida del sistema
- b) usando otro metal más conductor, tal como aluminio, como el material de la aleta.

Tres tipos de construcción del evaporador que utilizan los siguientes metales, son de uso común y están ampliamente disponibles a partir de un número de fabricantes:

1. Acero Galvanizado en Caliente (Stl/Zn)
2. Tubos de Acero Inoxidable con Aletas de Aluminio (SST/Al)
3. Tubos y aletas de Aluminio (Al/Al)

Intentando decidir cuál de estos metales y tipos de construcción son la mejor opción para una aplicación dada y su función, puede ser confuso. Con el fin de responder a la pregunta "¿Cuál es el mejor", en este artículo vamos a hacer una comparación de las siguientes características de cada tipo de construcción:

- Resistencia
- Costo/Precio
- Peso
- Desempeño
- Descongelamiento
- Resistencia a la corrosión
- Confiabilidad

Comparación de las propiedades:

Tabla 1 a continuación compara varias propiedades del acero inoxidable y aluminio con las del acero al carbono y zinc. Acero galvanizado se obtiene mediante la inmersión de acero al carbono en un baño de zinc fundido, por lo tanto, la base de estos dos metales se muestra en la tabla.

TABLA 1
Propiedades de Varios Metales

Metal	Densidad, lbm/cu ft	Conductividad Térmica Btu/sq ft h °F ft	Calor Especifico Capacidad, Btu/lbm °F	Resistencia a Tensión ksi
Acero al Carbono	490	26	0.107	47
Zinc	445	65	0.094	21
304L Acero Inoxidable	501	9.4	0.120	70
3003 Aluminio	165	117	0.215	14

La densidad del metal afecta directamente el peso del intercambiador de calor, y cuando se multiplica por la capacidad calorífica específica del producto, esto indica la cantidad de energía requerida para calentar y enfriar el intercambiador de calor durante un ciclo de descongelación.

La conductividad térmica del metal afecta el rendimiento térmico del intercambiador de calor, así como la velocidad y eficacia de descongelación.

La resistencia a la tensión del metal, determinará las presiones de estallido de los tubos de los intercambiadores de calor y los cabezales para un espesor de pared dado. Es interesante observar que varios metales se comportan de forma diferente a bajas temperaturas. Acero al carbono se vuelve quebradizo a temperaturas inferiores a -20°F. Deben ser tomadas acciones específicas respecto a la hora de diseñar con acero al carbono por debajo de -20F, tales como, el uso de material especial aprobado a impacto, aumentando el espesor de la pared de la tubería, tratamiento térmico post-soldadura para evitar fallos provocados por la fragilización del metal. La Tabla 2 muestra el rango normal de temperatura de trabajo permisible de varios metales

TABLA 2
Rango de Temperatura de Trabajo Normal Permissible para Varios Metales*

Metal	Rango de Temperatura de Trabajo Permissible ° F
Acero al Carbón (SA-179)	-20 a +500
304L Acero Inoxidable (SA-249)	-320 a +300
3003 Aluminio (SA-210)	-452 a +400

* Tomados de ASME Pressure Vessel Code, Section II, Part D.

Se desprende de la Tabla 2 que el acero inoxidable y aluminio ofrecen un excelente rendimiento en aplicaciones de baja temperatura de congelación en comparación con el acero galvanizado.

Comparación: Presión de Trabajo

Máxima Presión de Trabajo Permissible (**MAWP**) – por sus siglas en Ingles- es un parámetro de diseño importante que debe ser calculada por el diseñador (o fabricante) para asegurar que en las piezas y equipos del sistema de refrigeración no se producirá un error cuando se expongan a las presiones de operación máxima anticipada. Estándar ANSI / IIAR 2-2008 (IIAR 2008) establece que, para serpentines de aire forzado del evaporador: "La presión mínima de diseño será de 150 psig [1030 kPa gauge] y en el caso de descongelamiento por gas caliente, la presión mínima de diseño será de 250 psig [1720 kPa gauge] o la presión de diseño de la fuente del lado de alta, para el gas caliente, la que resulte mayor "(Sección 8.1.1.1). La norma también establece que, para los condensadores de amoniaco enfriados por aire: "La presión mínima de diseño será de 300 psig [2070 kPa gauge]" (Sección 7.1.1.1).

El **MAWP** para un recipiente de presión (es decir, colector o tubo del evaporador) puede ser fácilmente calculada a partir del Código ASME de Recipientes a Presión Sección VIII, cuando los siguientes parámetros son conocidos: diámetro, espesor de pared, la resistencia a la corrosión, la tensión máxima admisible y la eficiencia conjunta. La Tabla 3 muestra el **MAWP** calculado para tubos de diámetro 7/8 "(22 mm) y el espesor de la pared de diversos metales comúnmente utilizados

TABLA 3

MAX. PRESION DE TRABAJO PERMISIBLE PARA TUBOS BAJO PRESION INTERNA
(CALCULOS BASADOS EN ASME SECCION VIII, 2002 ADDENDA, UG-27)

Tubo/ Diam (in)	Tubo/Pared (in)	Tubo/Material	Corrosion Permitida, (in)	Max. Presion Trabajo Permitida, BAR (P)	Max. Presion Trabajo Permitida, PSIG (P)	Max. Tension Permitida (PSI) (S)
7/8	0.028	304L SST	0.002	51	738.2	14200
7/8	0.049	SA-179 CS	0.002	88	1284.7	13400
7/8	0.065	3003 Alum	0.002	31	443.7	3400

Como se muestra en la Tabla, el valor calculado de **MAWP** de todos los metales comparados, exceden fácilmente las 300 psig del código ANSI/IIAR-2 mencionadas anteriormente.

Comparación: Costo y Peso

El costo relativo (el precio resultante) y el peso de un evaporador son, evidentemente, consideraciones importantes a la hora de seleccionar el tipo apropiado de la construcción del evaporador para un proyecto determinado. Sobre una base de peso por libra, acero al carbono es menor en el costo de acero inoxidable y del aluminio. Este diferencial de costo no obstante se compensa para el aluminio, por la baja densidad del metal. Dado que el acero inoxidable tiene una alta resistencia a la tensión (ver Tabla 1), el espesor de pared del tubo de acero inoxidable puede ser reducido de forma segura, lo que reduce el costo de tubo por pie. El costoso proceso de galvanizado por inmersión en caliente no es necesario para la construcción con tubo de inoxidable aleta/aluminio, con lo que se deduce además al mayor costo por libra de estos metales en comparación con el acero al carbono.

Con el fin de hacer una comparación precisa de los tres tipos de construcción (STL/Zn, SST/Al y Al/Al) y un cálculo del peso relativo y el costo (con los costos actuales de los materiales) fueron hechas las pruebas para una sección típica de serpentín del evaporador de amoniaco, que tiene las características siguientes:

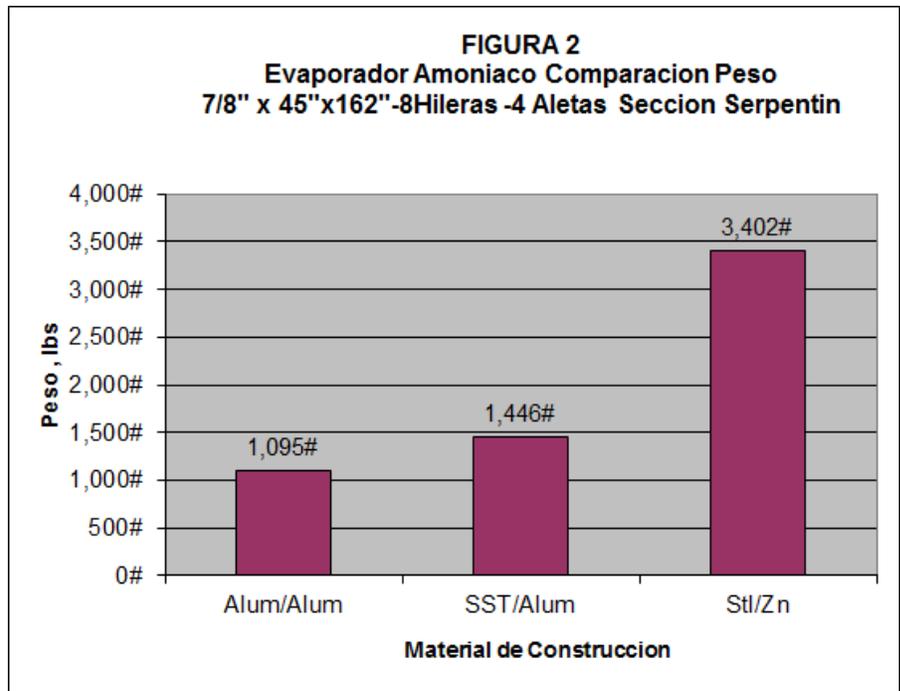
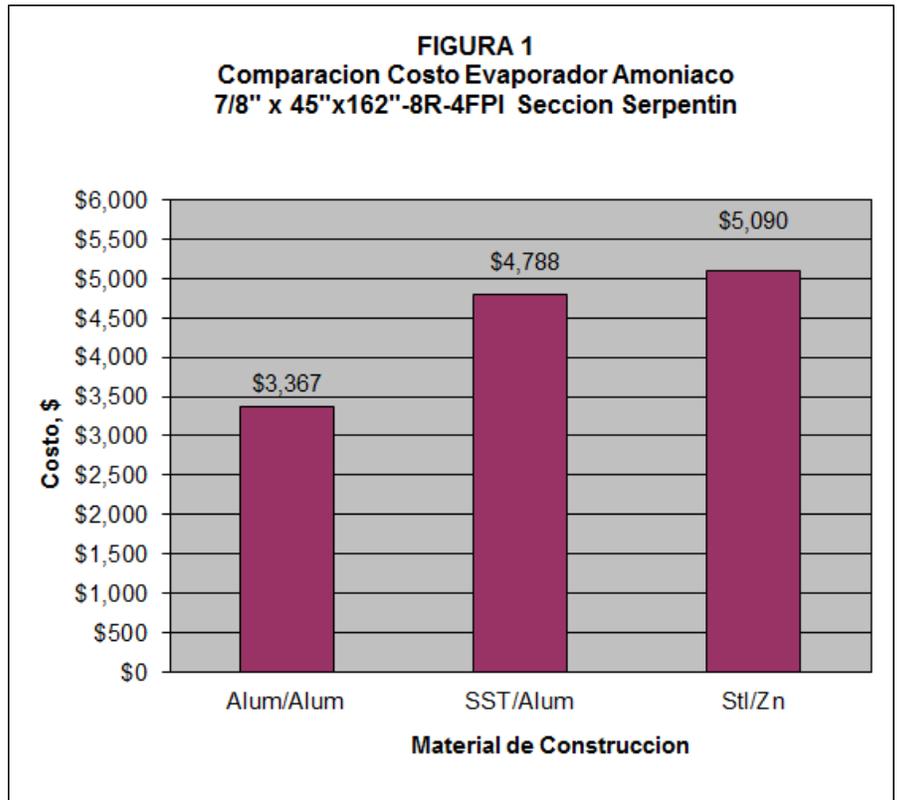
- 7/8" (22 mm) diámetro tubo
- 45" alto x 162" largo (1143mm x 4115mm)
- - 8 Hileras - 4 Aletas x Pul
- Capacidad de enfriamiento aproximada = 15 TR (53 kW)

Costo:

La Figura 1 muestra la comparación de costos para los tres tipos de construcción. Como se mencionó anteriormente, la baja densidad de aluminio combinado con su costo relativamente bajo por libra, hace del Al / Al el tipo de construcción de menor costo.

Generalmente hablando, las siguientes conclusiones pueden ser hechas:

1. Construcción con Stl/Zn es la mas elevada
2. SST/Al costo de construcción ligeramente menor que Stl/Zn,
3. Al/Al construcción ofrece menor costo:
 - 25 al 30% menor costo del serpentín comparado con Stl/Zn,
 - 12 al 15% menor costo de la unidad comparado con Stl/Zn.



Peso:

La muy baja densidad de aluminio hace que sea un metal ideal para usarse en las aletas del intercambiador de calor cuando el peso es una preocupación. La Tabla 1 muestra las densidades de acero al carbono, zinc y aluminio. Las densidades de acero y zinc (acero galvanizado) son aproximadamente 3 veces mayor que el aluminio. En un evaporador de refrigeración, las aletas representan aproximadamente la mitad del peso total del bloque del serpentín. La mayor parte del peso restante del bloque del serpentín es aportado por los tubos y los colectores.

La tensión y la resistencia al flujo en el metal de la tubería y los colectores afectarán el espesor de pared requerido para una presión de trabajo dada. Cuanto mayor sea la resistencia a la tensión, el espesor de pared más delgada será permitido y más ligero es el peso de la tubería. De la Tabla 1 se desprende que la tubería de acero inoxidable tendrá un espesor de pared más delgada y más ligera de peso cuando se compara a un tubo de acero al carbono para una determinada presión de trabajo calculada y la presión de ruptura.

Utilizando tubos de acero inoxidable adecuadamente seleccionados con aletas de aluminio, produce un bloque de serpentín que es significativamente más ligero que el mismo tamaño de un bloque del serpentín de acero galvanizado. Un bloque de serpentín hecho con tubos y aletas, ambos de aluminio, es aún más ligero en peso. La Figura 2 muestra los pesos calculados para los tres tipos de construcción

Como puede verse en la Figura 2, el peso calculado del bloque de serpentín de acero galvanizado (St/Zn) es de (3,402 libras) lo que significa que es 2,4 veces mayor que un tubo de acero inoxidable/aleta aluminio (SST /Alum) con peso del bloque de serpentín de (1.446 libras) y 3,1 veces mayor que bloque de serpentín con tubo y aletas de aluminio (Al/Al) del mismo tamaño.

Enfriadores de aire son frecuentemente montados en el techo o sobre la azotea del edificio refrigerado. El peso de los enfriadores de aire tiene un impacto significativo en el diseño estructural del edificio y es de particular importancia en zonas de alta sismicidad.

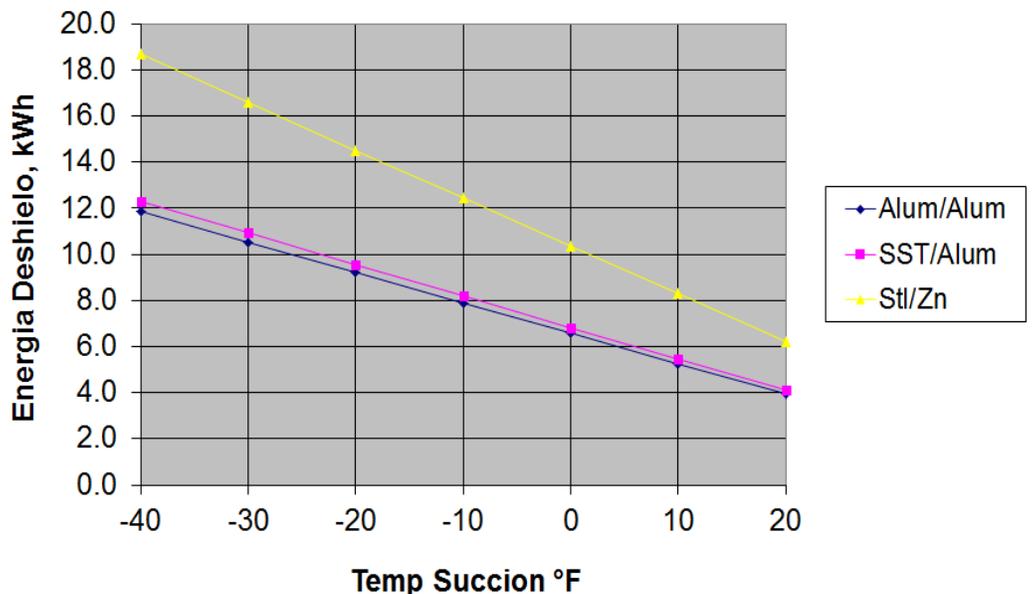
Enfriadores de aire SST /Al y en particular de Al/Al fabricados por Colmac ofrece a arquitectos e ingenieros una tecnología nueva de sustitución a los tradicionales enfriadores de aire pesados, de acero galvanizado. Esta ventaja de peso puede ser utilizado para reducir significativamente el costo de construcción de los miembros estructurales.

El menor peso de los enfriadores de aire de Colmac SST/Al y Al/Al, también ofrecen a instaladores de los equipos una seguridad mejorada para los trabajadores cuando están haciendo la maniobra de instalación. Es fácil de visualizar las ventajas de seguridad de montaje de una unidad que sólo pesa 2.000 libras en un edificio con un techo de 25 pies de alto, comparado con un evaporador de acero galvanizado que pesa 5.000 libras o más!

Comparación: Desempeño

La conductividad térmica del aluminio es 4½ veces más alta que el acero, y 2 veces mayor que el zinc. La conductividad térmica del material de la aleta tiene un efecto directo sobre la eficiencia de transferencia de calor, entre mayor, es el mejor. El aluminio es superior al acero galvanizado por su eficiente transferencia de calor. El rendimiento medido de un

FIGURA 3
Energía Deshielo Requerida Calentar/Enfriar
7/8"x45"x162"-8Hileras-4Aletas Seccion Serpentin



evaporador de amoniaco de Al/Al será de aproximadamente 12% a 14% más alto que un evaporador Stl/Zn que tiene las mismas dimensiones (Stencel 1992). Un evaporador de amoniaco SST/Al tendrá un rendimiento ligeramente inferior al de Al/Al debido a la menor conductividad de la tubería de acero inoxidable, pero todavía supera a un evaporador de Stl/Zn de las mismas dimensiones de entre un 10% a 12%.

La capacidad superior de enfriamiento del Al/Al y la construcción en SST/Al comparado con el SST/Zn permite al diseñador la elección entre: a) Seleccionar un evaporador que tiene un menor numero de columnas y/o un espaciamiento mas ancho de las aletas a menor costo, b) utilizar el mismo tamaño de la unidad (mismas columnas y espaciamiento de aletas) y operar a presiones de succión superiores con los consiguientes costos de funcionamiento reducidos.

Comparación: Energía de descongelamiento.

La alta conductividad térmica de las aletas de aluminio también produce mayor efectividad de deshielo comparado con el acero galvanizado. Evaporadores de SST/Al y Al/Al descongelan mas rápido y mejor que los serpentines de Stl/Zn.

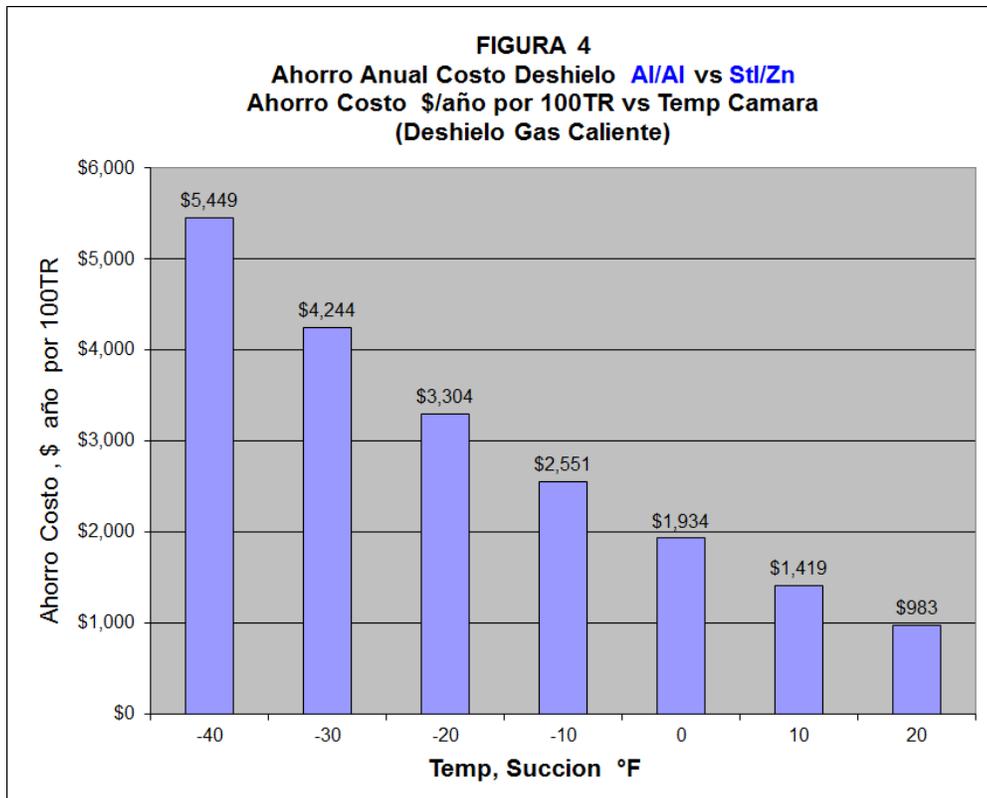
Los evaporadores de SST/Al y Al/Al también se desempeñan mejor que el Stl/Zn durante el descongelamiento en base a energía. Una cantidad sustancial de energía se consume durante el descongelamiento para calentar la masa de metal en un evaporador de refrigeración hasta la temperatura de deshielo, para enfriar el metal de vuelta a la temperatura de operación después de descongelar. Cuando la densidad del metal se multiplica por la conductividad térmica del producto indica la cantidad requerida para calentar (o enfriar) un intercambiador de calor de un volumen dado a un grado.

En base a este análisis, se hizo una comparación de los evaporadores como ejemplo. La figura 3 muestra la cantidad total de energía requerida para calentar la sección de serpentín desde la temperatura de succión de 50°F y luego enfriarla de nuevo. Esta energía se gasta en cada ciclo de descongelamiento.

Como se ve en la figura 3, las secciones de serpentín de Al/Al y SST/Al consumen mucho menos energía para calentar y enfriar durante el deshielo (30 a 50% menor) que la sección de serpentín de Stl/Zn. Esta menor cantidad requerida de energía para calentar y enfriar se refleja en un importante ahorro en costos de operación comparado con el tradicional consumo de energía en evaporadores de Stl/Zn.

Ahorro de energía en el descongelamiento.

Esta diferencia en el consumo de energía se puede convertir en ahorro de costos al hacer suposiciones por el número de desescarches por día, días de operación por año y la tasa de energía eléctrica. Se hizo un calculo de costos para 100TR (350KW) de capacidad de un evaporador, asumiendo 6 desescarches por día durante los 365 días del año, una tasa de utilidad de \$.10KWh, el típico sistema de compresor de tornillo (asumiendo que el deshielo es por gas caliente) y un regulador de presión de deshielo ajustado a 74.3 psig (50°F). Los ahorros de costo calculados por el deshielo por gas caliente se muestran en la figura 4.



Comparación: Resistencia a la corrosión.

La corrosión de los intercambiadores de calor por contacto con o la proximidad a los productos alimenticios es una preocupación en las instalaciones de procesamiento de alimentos (Nelson 2007). Todos los productos alimenticios son ligeramente ácidos. El aluminio y el acero inoxidable son más resistentes a la corrosión que el acero galvanizado cuando se expone a:

- Ácido acético y ácido cítrico (productos lácteos y productos cítricos)
- Los ácidos grasos (agentes anti-aglutinantes, lubricantes)
- Ácido láctico (pan, dulces, bebidas, fermentación, sangre)

El aluminio también es más resistente a la corrosión que el acero galvanizado en presencia de:

- Cloruro de Sodio (conservación de carnes y verduras)
- El dióxido de azufre (almacenamiento de uva)

Ni el acero galvanizado ni el aluminio se recomiendan en exposición a los nitritos (embutidos y ahumados). El acero inoxidable es el material sugerido para ser utilizado en presencia de nitritos.

En general, el aluminio y el acero inoxidable son mejores metales a utilizar que el acero galvanizado, donde existe la preocupación acerca de la corrosión debido al contacto con la mayoría de los productos alimenticios.

Productos químicos de limpieza.

Con el fin de controlar la contaminación de los alimentos en las instalaciones de procesamiento, se utilizan diversos compuestos químicos para la limpieza y desinfección. La limpieza se define como la eliminación de la contaminación orgánica (grasas y aceites) y/o inorgánica (incrustaciones o manchas). La Sanitización se define como el proceso de tratamiento de superficies limpiadas para matar o eliminar eficazmente los patógenos.

El USDA requiere que estos dos procesos, la limpieza y sanitización, se efectúen por separado. La limpieza y la sanitización de los productos químicos utilizados en la industria alimenticia recaen en cuatro categorías:

1. Ácido
2. Fuertemente alcalina
3. Ligeramente alcalina
4. A base de cloro

El zinc, el aluminio y el acero inoxidable (304L, 316L) reaccionan de manera diferente a estos productos químicos de limpieza (CNAE 1985). En algunos casos la corrosión severa y el desgaste del metal puede ocurrir. Generalmente hablando, la corrosión y la tasa de desgaste de metal aumenta con:

5. Incremento de temperatura
6. Incremento de la concentración
7. Mayor duración de la exposición
8. Aumento de ventilación de la solución

Lo que sigue es un resumen de cómo cada uno de estos metales reacciona a diferentes entornos y recomendaciones sobre productos químicos de limpieza y desinfección adecuados para cada uno.

Aluminio

General

- La capa protectora de óxido se forma muy rápidamente cuando el metal está expuesto al aire y es muy estable en el rango de pH de 4 a 9 (Davis, 1999).
- El aluminio se corroe rápidamente cuando está expuesto a limpiadores fuertemente alcalinos como al sosa cáustica (hidróxido de sodio) (Alum Assoc 1994).
- El aluminio también es atacado por los ácidos fuertes, así como limpiadores con cloro (hipoclorito de sodio concentrado).

Limpieza

- Las espumas de limpieza ligeramente alcalinas son recomendadas para la eliminación de las grasas animales (orgánica del suelo). Ejemplo: ZEP Strike Three, ZEP FS Foamate.

- Espuma de limpieza ligeramente ácida (ácido fosfórico base con un pH > 4) se recomienda para la eliminación de manchas y de las incrustaciones (inorgánicas del suelo).
- Ejemplo: ZEP Formula 7961

Sanitización

- Desinfectantes cuaternarios de esparcido de amonio son recomendados. Ejemplo: ZEP FS Amine Z, ZEP Amine A
- El uso de hipoclorito de sodio en altas concentraciones puede causar porosidad en el aluminio y no se recomienda para la desinfección.

Acero inoxidable (304L, 316L)

General

- El cromo en el acero inoxidable forma una capa pasiva muy densa que es generalmente muy estable durante un amplio rango de pH (Carpintero 1987).
- Estas aleaciones son resistentes a fuertes limpiadores alcalinos tales como sosa cáustica (hidróxido sódico)
- Sales de halógenos (principalmente cloruros) penetran en la capa pasiva y puede dar lugar a la corrosión por picadura y/o grietas por tensión.
- La exposición a hipoclorito de sodio, o soluciones de ácido clorhídrico, en altas concentraciones se reflejará en la corrosión por porosidad y/o agrietamiento por corrosión.

Limpieza

- Espumas de limpieza ligeramente alcalinas son recomendadas para la eliminación de las grasas animales (orgánica del suelo). Ejemplo: ZEP FS Strike Three, ZEP FS Foamate
- Espuma de limpieza ligeramente ácida (ácido fosfórico base con un pH > 4) se recomienda para la eliminación de manchas y de las incrustaciones. Ejemplo: ZEP Fórmula 7961

Sanitización

- Desinfectantes cuaternarios de esparcido de amonio son recomendados. Ejemplo: ZEP FS Amine Z, ZEP Amine A
- El uso de hipoclorito de sodio en altas concentraciones causará la corrosión por picadura y/o aparición de fisuras y no se recomienda.

Zinc (acero galvanizado)

General

- La capa de óxido se forma rápidamente en presencia de aire y es estable en el rango de pH de 7 a 12 (Stencel 1993).
- El zinc se corroe muy rápidamente cuando están expuestos a soluciones ácidas, incluso ligeramente ácido.
- El metal es resistente a la corrosión por limpiadores alcalinos tales como sosa cáustica (hidróxido sódico).

Limpieza

- Espuma de limpieza ligeramente alcalina es recomendada para la eliminación de las grasas animales. Ejemplo: ZEP FS Strike three, ZEP FS Foamate.
- Limpiadores ácidos de todo tipo (pH <7) resultarán rápido en el desgaste del metal y deben ser evitados. Esto hace que la eliminación de manchas y de las incrustaciones sea muy difícil y problemático.

Sanitización

- Desinfectantes cuaternarios de esparcido de amonio son recomendados. Ejemplo: ZEP FS Amine Z, ZEP Amine A
- El uso de hipoclorito de sodio no es recomendable.



Figura 5
Sistema antiguo de brida vs Nueva Tecnología
Colmac BiM



Figura 6
Evaporador Al/Al Evaporador con Conexiones
Colmac BiM

Comparación: Confiabilidad

En una reciente encuesta de usuarios finales de refrigeración de amoníaco, se encontró que el 95% de todas las fugas accidentales de amoníaco se producen en las conexiones de las bridas de tuberías, incluidas las conexiones del serpentín. En la construcción de Stl/Zn y SSTL/Al las conexiones suelen ser soldable y por lo tanto el potencial de fugas de amoníaco es reducido en gran medida. Las conexiones de los serpentines de Al/Al normalmente se usa unión dieléctrica con bridas que son propensas a fugas con el paso del tiempo. Una nueva tecnología ya esta disponible en Colmac que elimina la necesidad de conexiones de bridas en el serpentín de Al/Al. Los acopladores BIM de Colmac hacen la transición del serpentín de aluminio de líquido y las conexiones de succión del sistema de acero (o acero inoxidable) de tuberías a través de un proceso metalúrgico de unión patentado, eliminando la necesidad de pernos, juntas y bridas. Esta nueva tecnología se muestra a continuación en las figuras 5 y 6.

Conclusiones:

Tres tipos de construcción de evaporadores de amoníaco (Al/Al, SST/Al, and Stl/Zn) han sido analizados y comparados.

1. La construcción de Al/Al se encontró que tenía:
 - a. Menor costo inicial.
 - b. Más ligero.
 - c. Mejor rendimiento.
 - d. Bajo costo de operación.
2. A diferencia de que el Stl/Zn se vuelve mas frágil y requiere consideraciones especiales de diseño, las construcciones de SST/Al y Al/Al conservan toda su fuerza y no se vuelven frágiles, incluso a temperaturas muy bajas.
3. Cuando los evaporadores de Al/Al de amoníaco se instalan en plantas procesadoras de alimentos y expuestos a productos químicos de limpieza y desinfección:
 - a. Limpiadores altamente alcalinos (pH >10) deben ser evitados. Las espumas de limpieza ligeramente alcalinas son recomendables.
 - b. Los desinfectantes basados en amonio cuaternario si se recomiendan

Bibliografía

Alum Assoc 1994. "Guidelines for the use of Aluminum with Food and Chemicals". Sixth Edition. *The Aluminum Association*, WA DC.

Carpenter 1987. "Selecting Carpenter Stainless Steels". *Carpenter Technology Corporation*, Reading, PA. pp 211.

Davis J.S. 1999. "Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys", *ASM International*, Materials Park, OH

IIAR 2008. Standard ANSI/IIAR 2-2008 "Equipment, Design, and Installation of Closed-Circuit Ammonia Mechanical Refrigerating Systems". *International Institute of Ammonia Refrigeration*. Alexandria, VA

NACE 1985. "Corrosion Data Survey". *National Association of Corrosion Engineers*, Houston, TX.

Nelson, B. 2003. "Made for Ammonia". *BNP Media*, Troy, MI. Process Cooling & Equipment, July-August 2003.

Nelson, B. 2007. "Five Advantages of Aluminum Evaporators". *BNP Media*, Troy, MI. Process Cooling & Equipment, January-February 2007, pp 25.

Stencel, M. 1992. "Relative Performance of Aluminum and Galvanized Steel Evaporators". *International Institute of Ammonia Refrigeration*. Alexandria, VA. IIAR 14th Annual Meeting Proceedings, pp 197.

Stencel, M. 1993. "Aluminum and Galvanized Steel Evaporators: Effects of the Operating Environment". *International Institute of Ammonia Refrigeration*. Alexandria, VA. IIAR 15th Annual Meeting Proceedings, pp 264.

Para mayor información, contacte Colmac Coil Manufacturing, Inc.

mail@colmaccoil.com | P: 800.845.6778 or 509.684.2595
PO Box 571 | Colville WA. 99114-0571 | www.colmaccoil.com

© 2016 Colmac Coil Manufacturing, Inc.