



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

### **"Optimización de Descongele Gas Caliente"**

#### **Introducción**

Varios métodos se utilizan comúnmente para eliminar la escarcha (hielo) acumulada en los evaporadores de refrigeración que funcionan por debajo de cero. Ellos incluyen: agua, electricidad y gas caliente. Si son diseñados y operados correctamente, el descongele por gas caliente es un método que ofrece al operador del sistema de Refrigeración:

- Efectivo
- Automático
- Confiable y
- Seguro

#### ¿Por qué es el uso de gas caliente un método efectivo de descongelación en los evaporadores?

1. El evaporador se convierte en un condensador. Durante el proceso de descongelación de gas caliente a alta presión desde el lado de descarga del compresor se introduce en el evaporador de forma controlada, donde se condensa de nuevo a su estado líquido.
2. Es utilizado calor latente del refrigerante. El proceso de condensación libera una gran cantidad de energía, igual a la tasa de flujo de masa del gas caliente que entra en los tiempos de evaporación del calor latente de evaporización del refrigerante. El calor liberado durante la condensación se denomina "latente" ya que no hay cambio en la temperatura durante el proceso de condensación (el término latente significa "oculto"). Si la presión de condensación se mantiene constante, el proceso de condensación se llevará a cabo a una temperatura constante. La cantidad de calor liberado durante el proceso de condensación es mucho mayor que la cantidad de calor liberado cuando el gas sobrecalentado se enfría sin condensación (llamados "sensibles" de enfriamiento).
3. El líquido condensado es "reciclado" y se envía directamente a otros evaporadores. El líquido condensado de la descongelación del evaporador se expande en la línea de aspiración en mojado y se devuelve al receptor de baja presión (LPR) o el receptor de presión intermedia (MPR), donde se "reciclan" y se bombea directamente de vuelta a los evaporadores.
4. Descongelamiento por gas caliente actúa como una bomba de calor para "mover" el calor. Una bomba de calor que mueve el calor "hacia arriba" mediante la recopilación de la energía a un nivel de baja temperatura en el evaporador, comprimiendo el refrigerante evaporado a una presión superior, entonces la liberación de la energía a un nivel de temperatura más alta durante el proceso de condensación. La energía en este proceso es de 7 a 8 veces más eficiente que la quema de combustibles fósiles o electricidad directamente para producir el efecto de calentamiento mismo. De la misma manera que el calor utilizado para la descongelación de gas caliente en realidad ha sido recogido desde el espacio refrigerado por los evaporadores en operación, y luego "trasladado" a los evaporadores para descongelar mediante un proceso de compresión a una presión de refrigerante y la temperatura lo suficientemente alta como para derretir el hielo. Descongele por gas caliente es muy eficiente!

## Definición de Eficiencia de Descongele

Una definición generalmente aceptada de la eficiencia de descongelación se muestra a continuación:

$$\eta_D = \frac{Q_f}{Q_{total}}$$

where :

$\eta_D$  = Eficiencia de Descongele

$Q_f$  = Calor para calentar y derretir la escarcha

$Q_{total}$  = Entrada de energía total del deshielo

La cantidad mínima absoluta de calor requerida por un ideal de descongelación (100% de eficiencia) sería igual a lo justo para calentar y derretir el hielo en sí. El calor adicional que se aplica en el evaporador reduce la eficiencia de descongelación a menos del 100%. Lamentablemente, el calor debe aplicarse al inicio del ciclo de descongelación para calentar el metal del evaporador con una temperatura de evaporación de hasta 32 ° F (0 ° C). Este calor debe ser removido de nuevo al final de la descongelación cuando el sistema de refrigeración se reinicie. El calor también se debe agregar a la bandeja de drenaje para mantener el hielo derretido líquido el tiempo suficiente para escapar del espacio refrigerado a través del drenaje. Este calentamiento (y enfriamiento) del metal del serpentín y la bandeja de drenaje inevitable y resulta en una reducción de la eficiencia máxima del deshielo ideal.

La eficiencia de descongele también se reduce cuando una parte del calor de descongelación se pierde en la habitación como aire caliente (convección) y la radiación. Finalmente, el gas caliente sin pasar por el regulador de descongele al final del ciclo de descongelación representa otra derrota mediante la imposición de una carga falsa en el compresor, y además reduce la eficiencia de descongelación. Mejorar la eficiencia de descongele mediante la reducción de descongeles, dos últimos tipos de pérdidas de calor de descongelación es el tema de la discusión que sigue.

### ¿Qué tan eficiente es un congelador de descongelación típico?

Cole (1989) observó que la mayoría de los evaporadores congelador opera con eficiencia de descongelación de sólo el 15% a 20%. De la energía total de descongelación se determinó que:

- 15 a 20% se utilizó para fundir el hielo.
- 60% se perdió en la habitación a través de convección y radiación
- 20% se requiere para calentar y enfriar el metal en el evaporador, y
- Aproximadamente el 5% se ha perdido debido al gas caliente sin pasar por el regulador de deshielo al final de la descongelación.

Cole sugiere además que la eficiencia máxima teórica de descongelación estaba probablemente en el rango de 60% a 70%.

La eficiencia de descongele se reducirá de la energía que se pierde a la sala durante los aumentos de descongelación. La cantidad de calor que se pierde en la sala se ve directamente afectado por la temperatura ambiente (un cuarto frío tendrá mayores pérdidas por convección), la duración del descongele (un deshielo más largo tendrá más pérdida de calor por convección), y la temperatura del gas caliente (mayor temperatura del gas caliente se traducirá en más pérdidas por convección). La frecuencia de los deshielos y la cantidad de escarcha acumulada también afectan la eficiencia de descongelación, es decir, más hielo acumulado directamente tiende a aumentar la eficiencia de deshielo por la ecuación se muestra arriba.

Un modelo de transferencia de calor fue escrito para un evaporador industrial típico para examinar cómo la eficiencia de descongelación se ve afectado por:

- La temperatura ambiente
- Temperatura del gas caliente
- Duración de la descongelación
- Espesor del hielo, y
- Los materiales de construcción

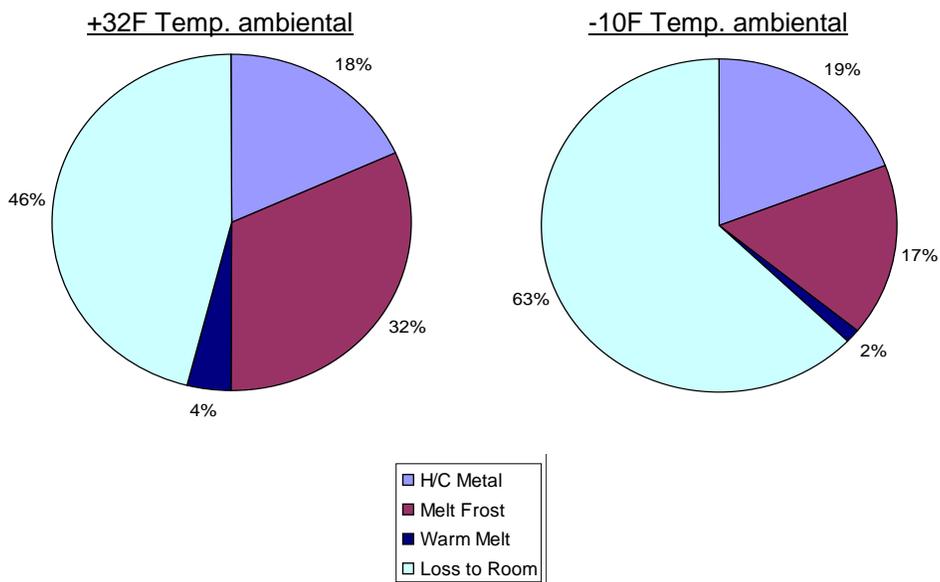
### Temperatura Ambiental

A como la temperatura ambiente se reduce, el cuarto pierde el calor de descongelación debido a la calefacción por convección de aire inevitablemente se vuelve mayor. Esto significa que la eficiencia de descongelamiento en una cámara de congelación siempre será menor que la eficiencia de descongelamiento en una sala de temperatura media. La figura 1 ilustra la mayor pérdida de calor por convección en el congelador (63%) en comparación con la temperatura ambiente media (46%), y la consecuente menor eficiencia de descongelación en el congelador (17%) frente a la temperatura del medio ambiente (32%). Tenga en cuenta que la eficiencia de descongelación es igual al porcentaje de "Hielo Fundido" que se muestran en los gráficos. Esto pone de relieve la cantidad relativamente grande de calor que se pierde en la sala durante el deshielo debido al calentamiento del aire por convección, independientemente de la temperatura ambiente. La reducción de esta pérdida de calor por convección, cambiando el diseño de la carcasa del evaporador por lo tanto, representa una oportunidad para mejorar significativamente la eficiencia de descongelación y se discutirá más adelante.

**FIGURA 1**

### Energía de gas caliente vs Temperatura ambiental

Al/AI, 7/8x8R-3F, 50F NH3, 10F TD  
 30 minutos de duración , 1 mm espesor de escharcha



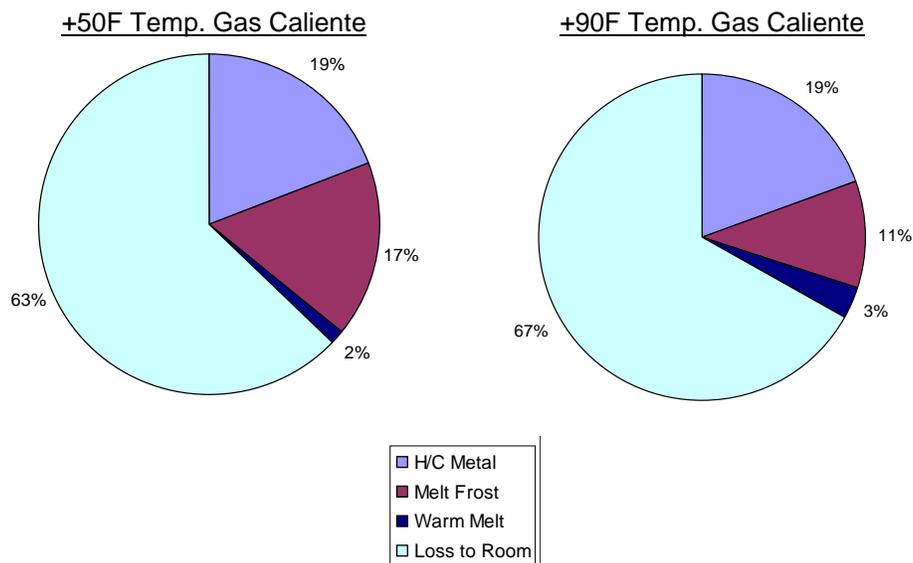
## Temperatura del gas caliente

Dado que el importe de la pérdida de calor por convección a la habitación es directamente afectado por la diferencia de temperatura entre la temperatura del gas caliente y la temperatura ambiente, cualquier aumento en la temperatura del gas caliente superior al mínimo absoluto necesario para fundir los resultados de las heladas en un aumento proporcional de las pérdidas por convección. En general se acepta que la práctica temperatura mínima de gas caliente para descongelar efectiva es de alrededor de 50F (un ajuste del regulador de descongelación de 75 psig). La figura 2 muestra cómo un aumento en los resultados de la temperatura de gas caliente en un aumento en la pérdida de calor por convección y la reducción en la eficiencia de descongelación. Es la observación del autor de que en muchas instalaciones, la temperatura del gas caliente se eleva por encima del 50F mínimo requerido en un intento de borrar el serpentín de hielo debido a algún problema de diseño relacionado (s), tales como la acumulación de hielo en la bandeja de drenaje, o de la tubería de descongelación inadecuada.

**FIGURA 2**

### Energía gas caliente vs temperatura descongelación

Al/Al, 7/8x8R-3F, -10F cuarto, 10F TD  
30 minutos de duración, 1 mm espesor de escarcha



En un arreglo convencional de la válvula de control de gas caliente, la presión del gas caliente (y por lo tanto la temperatura de descongelación) está determinada por el ajuste del regulador de descongelación. Es importante reconocer que alguna diferencia mínima de presión entre la presión de suministro de gas caliente y el ajuste del regulador de descongelación se debe mantener con el fin de proporcionar suficiente "empuje" para mantener limpio el refrigerante condensado a partir del serpentín. A diferencia de presión de 15 a 20 psig debería ser suficiente para mantener el serpentín limpio de refrigerante condensado. Si esta diferencia de presión se vuelve demasiado pequeña (ya sea la presión de suministro de gas caliente cae demasiado bajo el ajuste del regulador de descongelaciones demasiado alto) después el refrigerante líquido condensado puede acumularse en los tubos serpentín y se enfría por debajo de la temperatura de saturación, por lo general en las filas inferiores. Una vez que el líquido refrigerante se enfría por debajo de la temperatura de saturación pierde su capacidad para derretir la escarcha y el hielo tiende a acumularse.

Además, los fabricantes deben diseñar el serpentín adecuado para drenar de forma continua y limpiar refrigerante condensado a partir de:

- Circuito para bandeja de drenaje gas caliente.
- Los circuitos del serpentín, y
- Cabecera de líquidos y la conexión

El diseño de la cabecera del líquido para atrapar efectivamente refrigerante condensado y forma un sello de líquido debajo de lo más bajo del tubo del serpentín es particularmente importante para evitar el problema de la acumulación de líquido que no ha sido saturado en los tubos del serpentín inferior mencionado anteriormente.

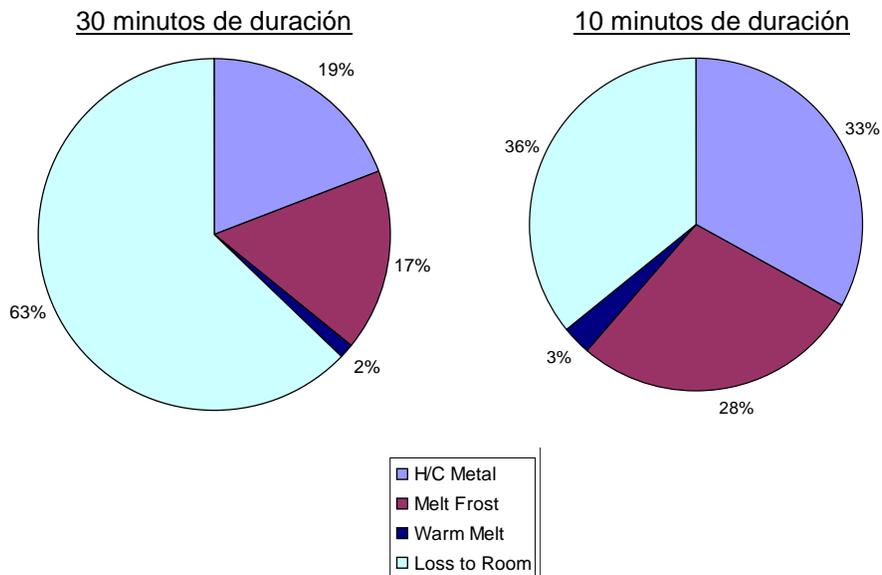
### Duración de la descongelación

Cole (1989), confirma por sus propias medidas, y para la observación de los demás, que el tiempo mínimo necesario para derretir el hielo en los tubos del evaporador y las aletas es sólo de entre 8 y 10 minutos. Sin embargo, es la observación del autor es que la mayoría de los evaporadores en las instalaciones de refrigeración industriales de gas caliente configuración de la duración de descongelación en más de 30 minutos, es decir, el período de tiempo que el solenoide de gas caliente está abierto. La Figura 3 muestra una reducción significativa en la pérdida de calor por convección, y el aumento de la eficiencia de descongelación, lo que resulta de acortar la duración de descongelación de 30 minutos a 10 minutos.

**FIGURA 3**

### Energía Gas caliente vs Duración de Descongele

Al/Al, 7/8x8R-3F, 50F NH3, -10F Temp. Ambiental, 10F TD  
1 mm Espesor de la escarcha



Duración de la descongelación ya que el mínimo de 10 minutos no debería ser necesario, sin embargo, es muy común ver a la duración de descongelación de 30 minutos o más. Esto es consecuencia de las deficiencias, ya sea en el diseño del evaporador (acumulando hielo en la bandeja de drenaje o incorrecta conexión atrapados en la salida del serpentín), o en la tubería de deshielo y/o en los controles.

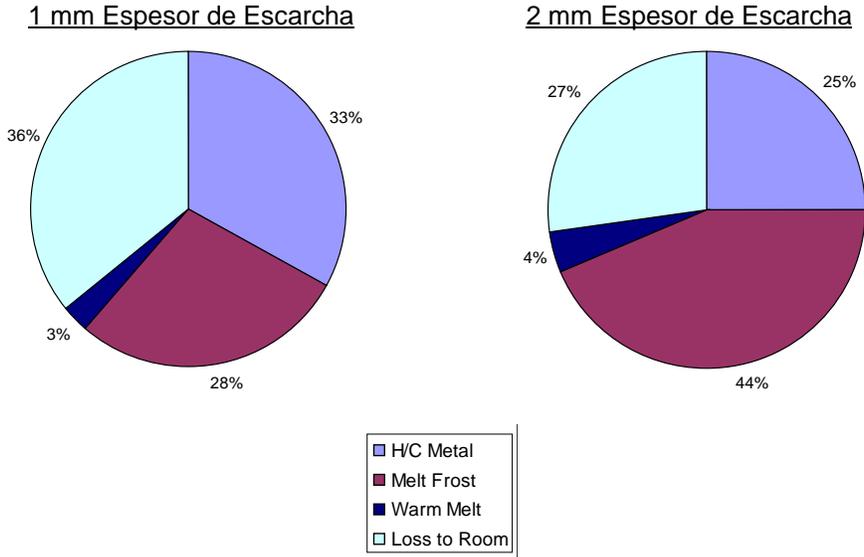
### Espesor de la escarcha

La definición de eficiencia descongelar implica que el aumento de la cantidad de hielo derretido durante el deshielo directamente a aumentar la eficiencia. Reducir el número de descongeles por día, aumenta el espesor del hielo y aumenta la eficiencia de la descongelación. La Figura 4 muestra el efecto de aumentar el espesor de la escarcha de 1 mm a 2 mm, y confirma un aumento significativo en la eficiencia.

**FIGURA 4**

**Energía de Descongele Gas Caliente vs Espesor de Escarcha**

Al/Al, 7/8x8R-3F, 50F NH3, -10F Cuarto, 10F TD  
10 Minutos duración de descongele



Reducir el número de descongeles por día puede o no puede ser posible con las instalaciones existentes, en función del diseño del evaporador. Con el fin de que los evaporadores puedan transportar a más escarcha en las superficies de aletas entre deshielos, dos características de diseño son necesarias:

1. Amplio espacio entre aletas. Un espacio entre aletas de 3 FPI (8,5mm /fin) que permita que la escarcha acumulada entre deshielos más en comparación con el 4FPI (6,4mm /fin) con la menor restricción de flujo de aire y una menor reducción en el rendimiento del evaporador.
2. Una proporción grande secundaria (fin) a la educación primaria (tubo) de la superficie. Evaporadores con separación del tubo muy cerca han reducido la superficie total de la obligación de refrigeración y la reducción de la capacidad a las heladas de transporte. Evaporadores de tubos con más separados que tienen una mayor área de superficie total y tienen una mayor capacidad de llevar a las heladas. Por ejemplo, un evaporador con una separación de 50 mm y tubo de 3 FPI dará tiempo a largo plazo entre los descongeles que un evaporador de tubos con una separación de 38 mm y 4FPI. Más el total del área de la superficie para dar servicio de refrigeración que permite menos descongele por día.

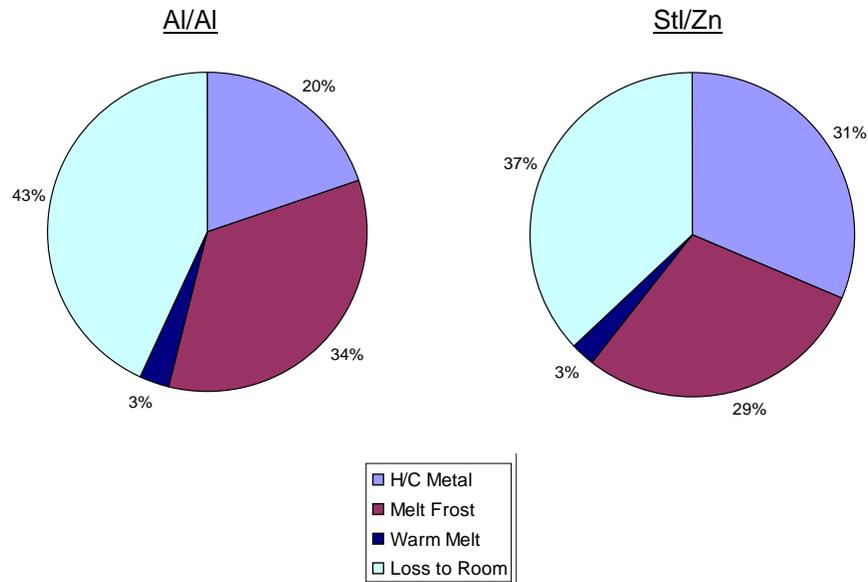
**Los materiales de construcción**

Nelson (2003) demostró que se necesita más energía para calentar y enfriar el metal en un evaporador de acero galvanizado en comparación con un evaporador de aletas de aluminio y tubo de aluminio durante un ciclo de descongelación. Esto se debe principalmente a la mayor masa de metal en la construcción de acero galvanizado. En la figura 5 se muestra la reducción en la eficiencia de descongelación de un evaporador de galvanizado (ROB / Zn) en comparación de uno construido de aluminio todo (Al / Al).

**FIGURA 5**

**Energía gas caliente vs Construcción**

7/8x8R-3F, 50F NH3, -10F Cuarto, 10F TD  
20 minutos de duración, 2 mm Espesor de escarcha



**Resumen: Eficiencia de Descongele**

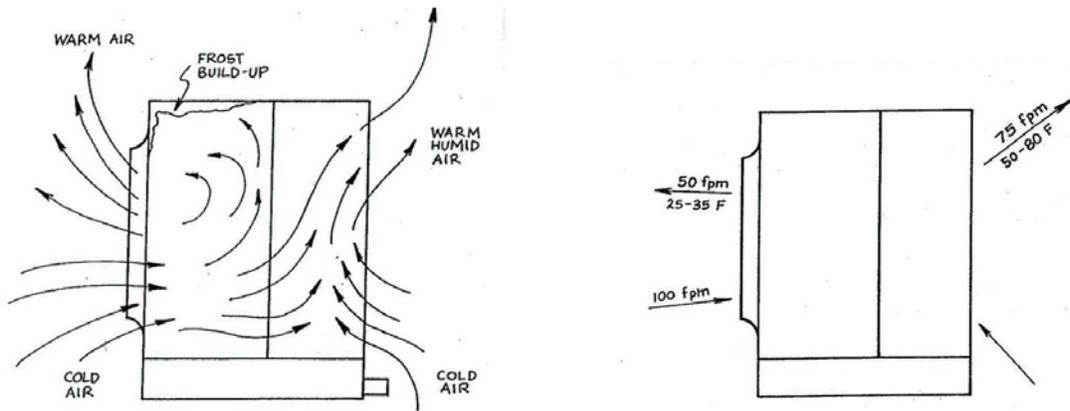
De la discusión anterior podemos resumir:

1. Las temperaturas más frías de habitación inevitablemente tendrá una menor eficiencia de descongelación.
2. Eficiencia de descongele mejora a medida que:
  - a) La temperatura de gas caliente se baja
  - b) Duración de descongele se acorta
  - c) El tiempo entre los descongeles (espesor de hielo) se incrementa.
3. La pérdida de calor por convecciones es una penalización importante en todos los casos.
4. Reducir la duración y el aumento de espesor de hielo mejora de la eficiencia de descongelación del 17% al 44% en el congelador.
5. Todos los de aluminio (Al/ Al) mejora de la eficiencia de la construcción de descongelación del 29% al 34% en el congelador en comparación con el acero galvanizado (ROB / Zn). Tenga en cuenta que todas las construcciones de aluminio también descongelan más rápido que el acero galvanizado, debido a la conductividad térmica mucho mayor de aluminio.

**Reducir la pérdida de calor por convección**

Como puede observarse, la reducción de las pérdidas de calor por convección durante el descongele presenta una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia energética de descongelamiento gas caliente. Figura 6 de Cole (1989) muestra el campo que mide los patrones de movimiento del aire y las velocidades tomadas durante el deshielo.

**FIGURA 6**  
**Aire por convección en movimiento durante el deshielo**



Tomado de: Cole, R.A. 1989. "Las cargas de refrigeración en un congelador debido a los gases calientes descongelar y sus costos asociados." *ASHRAE Transactivos*, V.95, Pt.2.

El uso de campanas de retorno aire, y las medias de descarga de ventiladores es un desarrollo reciente, ya está disponible como una opción de los fabricantes del evaporador. Campanas de retorno de aire en combinación con medias de descarga del ventilador elimina eficazmente el movimiento de convección del aire y la pérdida de calor durante el deshielo. La figura 7 muestra típica de las campanas de aire de retorno y las medias de descarga del ventilador instalado en un evaporador.

**FIGURA 7**  
**Evaporador con capucha de retorno de aire y la media de descarga instalada**



Campanas de aire de retorno, como las que se muestran son muy eficaces. Sin embargo, si no se tiene cuidado para (a) aislar el capó, y (b) el calor activa la superficie interior de la campana durante el deshielo, a continuación, escarcha y el hielo puede acumularse en las superficies interiores de la campana y bloque el flujo de aire y se caer al piso de abajo. Además, las medias de descarga del ventilador puede ser necesario retirarse periódicamente para la limpieza y de deshielo.

## La optimización de descongelamiento por gas caliente: Conclusiones

De la discusión anterior, se puede observar que la descongelación de gas caliente de los evaporadores se puede hacer mucho más eficiente de la siguiente manera:

1. Minimizar la pérdida de calor por convección.
  - Utilice el ajuste más bajo, práctico regulador de descongelación. 75 a 90 psig (50 a 60F) debe ser adecuada. Nota: Si se necesita mayor presión, para detectar problemas en otros lugares.
  - Captura del calor de descongelación (es decir, instalar campanas de aire de retorno).
2. Acortar la duración del deshielo.
  - Abrir la electroválvula de gas caliente el tiempo suficiente para limpiar el serpentín (8-10 minutos).
  - Instale un solenoide por separado de gas caliente y el regulador de descongelación de pre y post calentamiento del circuito de la bandeja de drenaje. Alternativamente, instalar calefacción por resistencia eléctrica a la bandeja de drenaje.
3. Reducir el número de descongelos por día.
  - Reducir el número de descongelos por día para que coincida con la carga de hielo
  - Seleccione evaporadores con amplio espacio entre aletas (3 FPI en lugar de 4 FPI) y grandes espacios (fin) de superficie para maximizar la capacidad de carga de hielo.

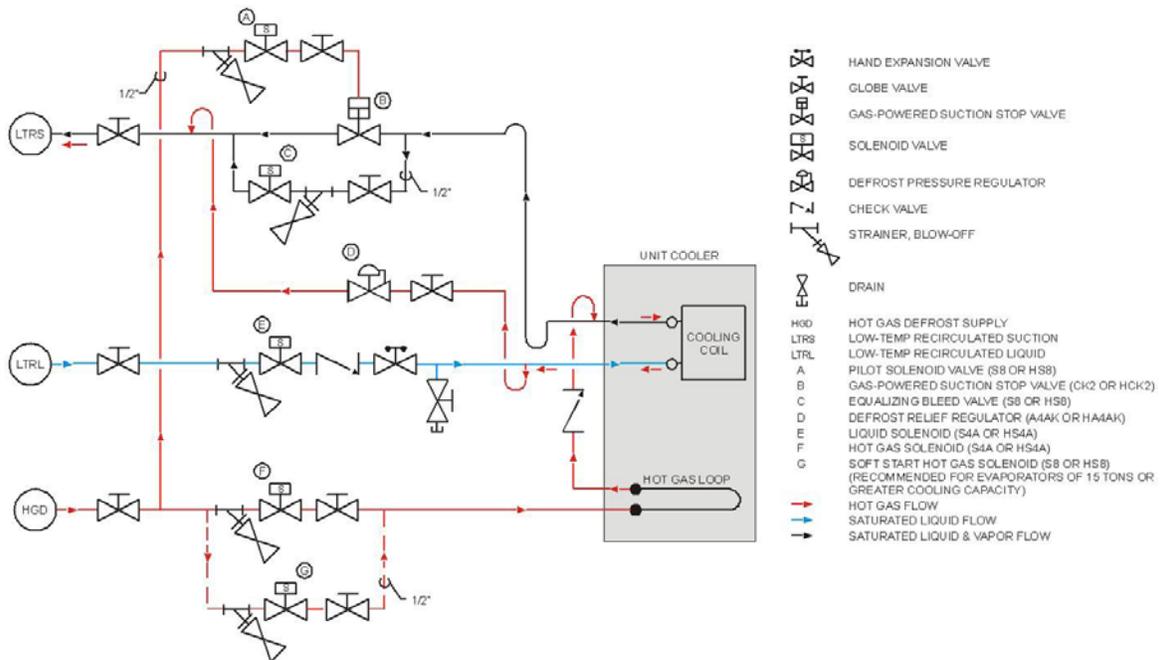
## Secuencia de operación

Con referencia al diagrama de entubado que se muestra en la Figura 8 a continuación, una secuencia típica de la operación de descongelación por gas caliente es el siguiente:

1. Cerrar el solenoide de líquido con los ventiladores funcionando.
2. El bombeo durante el tiempo necesario para eliminar todo el líquido. NOTA: DX evaporadores de alimentación superior requiere de menos tiempo para el bombeo.
3. Parar los ventiladores.
4. Abrir piloto solenoide de gas caliente para cerrar la válvula de succión.
5. En los serpentines >15TR abrir Solenoide de arranque de gas caliente para que poco a poco el serpentín este cerca de la presión de descongelación.
6. Abrir solenoide de gas caliente y comenzar a descongelar.
7. Solenoide de gas caliente se mantiene abierto el tiempo suficiente para limpiarla bobina de hielo y mantener la bandeja de drenaje caliente hasta que esté completamente drenado.
8. Cerrar solenoide de gas caliente para terminar el deshielo.
9. Abra la válvula de purga de igualación de ajuste gradual del serpentín hasta la presión de succión.
10. Cerrar piloto del solenoide de gas caliente para abrir la válvula de succión
11. Abrir la línea de líquido del solenoide para empezar a enfriar.
12. Después de un rato, encender los ventiladores.

FIGURA 8

Entubado descongela gas caliente para alimentación inferior



El arreglo de la válvula de control que se muestra en la Figura 8 envía gas caliente primero a través del circuito de la bandeja de drenaje luego en serie a través del bloque del serpentín. Este sistema comúnmente utilizado es eficaz y simple, sin embargo, se requiere que el solenoide de gas caliente permanezca abierto para mantener la bandeja de drenaje caliente lo suficiente para que toda el agua se vacíe por completo y salga por la tubería de drenaje. La pérdida de calor por convección del cuarto continúa después que el serpentín está libre de hielo, mientras que bandeja de drenaje esta drenando. Como se mencionó anteriormente, un sistema más eficiente que el control de gas caliente en el bloque del serpentín y al circuito de la bandeja de drenaje, separado a través de dos solenoides de gas caliente y dos válvulas de regulación de descongelación. Este control separa la calefacción de la bandeja de drenaje también se puede lograr mediante el calentamiento de resistencias eléctricas a la bandeja de drenaje. Este sistema reduce la cantidad de gas caliente es el tiempo que fluye a través del bloque de serpentín, lo que minimiza la pérdida de calor por convección y maximizar la eficiencia de descongelación.

**Diseño para la confiabilidad**

Un funcionamiento fiable del gas caliente del sistema de descongelación depende de un suministro adecuado de gas caliente en todo el ciclo de descongelación. Recuerde que:

1. Correctamente el tamaño y el aislamiento de gas caliente de acuerdo a las directrices de IIAR (IIAR 2004).
2. Asegúrese de dos serpentines estén trabajando para cada serpentín que este en descongelación. Esto es debido a que el evaporador tiene aproximadamente el doble de la capacidad de condensación, como la capacidad de evaporación durante el deshielo.
3. Control de la presión de la cabeza del sistema para mantener una presión mínima de suministro de gas caliente que es de 15 a 20 psi por encima del ajuste del regulador de descongelación. Por ejemplo: Si el regulador de descongelación se ha fijado en 80 psig, entonces la presión del gas caliente en el solenoide que suministre gas caliente al serpentín (durante todo el año) en un mínimo de 100 psi.

Confiable operación de descongelación con gas caliente también depende de la correcta selección de las válvulas de control. La literatura de válvulas de control de los fabricantes y las directrices debe ser consultada. Válvulas de control de de gas caliente de gran tamaño suelen a "vibrar", y puede causar un ruido excesivo y la falla prematura de las válvulas.

## Diseño para la Seguridad

La seguridad siempre debe ser una consideración primordial a la hora de diseñar y operar un sistema de descongelación gas caliente con amoníaco. Recuerde que, como mínimo, debe hacer lo siguiente:

1. Use la práctica de buen entubado. Del Manual tubería IIAR (2004).
2. Mantener las líneas de gas caliente limpias de líquido al lanzar hacia abajo, hacia las líneas de drenaje.
3. Siempre igualar la presión después del descongelamiento antes de abrir la válvula de succión.
4. En los serpentines > 15TR utilice siempre un solenoide de arranque progresivo de gas caliente para llegar gradualmente a la presión de descongelación.
5. Desarrollar y mantener una completa PSM-RMP (Gestión de Procesos de Seguridad - Programa de Gestión de Riesgos) para su sistema de refrigeración de amoníaco.
6. Desarrollar y mantener una cultura de formación sobre seguridad y preparación en todos los niveles de su organización.

## Referencias

Cole, R.A. 1989. "Las cargas de refrigeración en un congelador debido a los gases calientes descongele y sus costos asociados." *ASHRAE Operaciones*, V.95, Pt.2.

IIAR. 2004. Manual de entubado de refrigeración de amoníaco. Instituto Internacional de refrigeración de amoníaco.

Colmac Coil Manufacturing, Inc. 2003. Bulletin ENG00014424: "Evaporadores, Instalación, Operación y Mantenimiento." *Colmac Coil Manufacturing, Inc. Colville, WA*.

Nelson, B.I. 2003. "Hecho de amoníaco." "Proceso de enfriamiento y equipo." Julio/Agosto 2003.

Para mayor información, contacte Colmac Coil Manufacturing, Inc.  
[mail@colmaccoil.com](mailto:mail@colmaccoil.com) | P: 800.845.6778 or 509.684.2595  
PO Box 571 | Colville WA. 99114-0571 | [www.colmaccoil.com](http://www.colmaccoil.com)  
© 2016 Colmac Coil Manufacturing, Inc.