

Directrices de evolución en el diseño de un evaporador antiescarcha.

Samantha Lidia Narváez Granados¹, David Luna Sánchez²,
Abraham Moreno Reyna³

Resumen— Un sistema de refrigeración consta de cuatro componentes básicos que son: compresor, condensador, elemento de expansión y evaporador. La forma de identificar las problemáticas existentes entre los componentes y el ambiente se pueden definir de varias maneras. En este caso en particular, se utilizan herramientas de diseño e innovación para estudiar la interacción existente entre el aire húmedo y la pared fría del evaporador. En el presente documento se analiza el problema de bloqueo del sistema de enfriamiento debido a la generación de hielo sobre la superficie exterior de dicho componente. Se plantean las directrices y tendencias de evolución para el desarrollo de un nuevo concepto de diseño de evaporador antiescarcha, analizando la evolución del sistema desde el punto de vista del micronivel.

Palabras clave—Antifrosting, Frosting, Bloqueo de Evaporador, Leyes de Evolución.

Introducción

Desde hace ya muchos años, la refrigeración ha servido para mejorar las condiciones de vida del ser humano, evitando el crecimiento de bacterias en alimentos, impidiendo algunas reacciones químicas no deseadas en determinadas sustancias y consiguiendo ambientes agradables.

En la refrigeración mecánica se obtiene un enfriamiento constante mediante la circulación de un refrigerante contenido en un sistema de circuito cerrado, donde se comprime, se condensa, se expande y se evapora realizándose un ciclo continuo y enfriando un fluido. El fin de un evaporador como intercambiador de calor en el sistema de enfriamiento es absorber calor de la “carga térmica” presente en una cámara cerrada, que en nuestro caso de estudio es transportada por el aire.

El aire es una mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas, así cuando cierto volumen de aire pasa a través del serpentín del evaporador, el vapor de agua se condensa en forma de gotas sobre la superficie exterior de este componente. Esto se debe a que la superficie exterior del evaporador se encuentra a una temperatura inferior a la del ambiente, generando condensación. El nivel de temperatura que llega alcanzar la superficie exterior del evaporador se encuentra por debajo de 0°C, que corresponde al punto de congelación del agua (Cengel, 2004). Por lo que, la humedad que ha sido condensada forma paulatinamente capas de hielo sobre la superficie del intercambiador como se puede observar en la Figura 1.

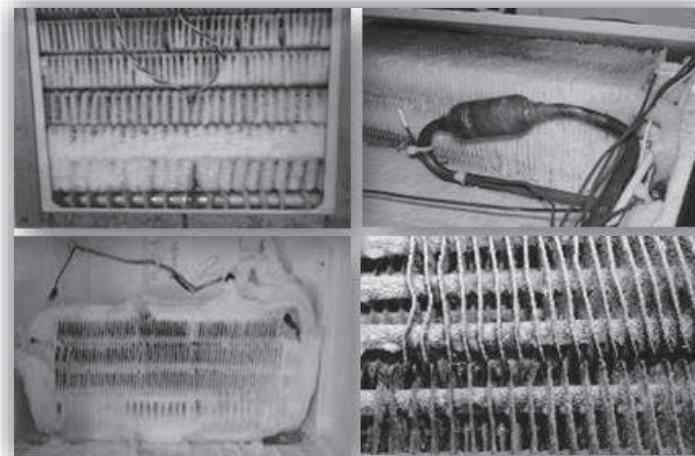


Figura 1. Formación de hielo sobre la superficie exterior de evaporadores.

¹ La Ing. Samantha Lidia Narváez Granados es Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología del Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT) opción terminal de Diseño y Desarrollo de Sistemas Mecánicos, Querétaro, México.

slnarvaez@cidesi.edu.mx

² El Dr. David Luna Sánchez es Líder de Proyectos en CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, Querétaro, México.

david.luna@ciateq.mx

³ El MC Abraham Moreno es Estudiante PhD, Universidad de Burdeos, Burdeos, Francia. morenoreynaabraham@yahoo.com

Esto va degenerando el proceso de transferencia de calor hasta convertirse en un aislante térmico entre el aire y la superficie exterior del evaporador, lo que disminuye el rendimiento del equipo (Zhongliang et al. 2005), obligando al compresor a trabajar en ciclos más largos y aumentando el consumo de energía, hasta llegar al punto de provocar el bloqueo del evaporador y este a su vez el fallo del sistema completo de enfriamiento.

Este estudio presenta la evolución de las soluciones que se han desarrollado para atacar este tipo de problemática, con el fin de identificar las tendencias que han sido mayor y menormente consideradas, como guía para el planteamiento de un nuevo concepto de diseño.

Descripción del Método

Definición del Sistema

Se utilizan herramientas de apoyo para la toma de decisiones en espacio de soluciones innovadoras, partiendo desde la arquitectura funcional para definir el evaporador y su interacción con el medio. Después se complementa el análisis con la herramienta de sustancia-campos; que permite visualizar los componentes que generan el problema entre la pared fría y la humedad del aire. Posteriormente se evalúan las ocho tendencias o leyes de evolución del sistema técnico, lo cual permite ubicar el estado de desarrollo del diseño actual del evaporador.

Arquitectura física

Se describe el sistema descomponiéndolo en unidades funcionales, que permiten realizar la descripción orgánica de los elementos que lo componen. Esta representación a su vez permite esquematizar las influencias que imponen los medios externos circundantes sobre el sistema.

En la Figura 2 se presenta la arquitectura física del evaporador, donde se resaltan los componentes: Tubería y Aletas, que por medio de su superficie de intercambio exterior realizan la función principal de enfriar el aire. Con líneas punteadas se señalan los medios externos que influyen en el funcionamiento del evaporador, como lo son el sistema de deshielo, el aire húmedo, la escarcha, entre otros.



Figura 2. Diagrama de la Arquitectura Física de Evaporador

Diagrama CTA

Una vez identificados tanto los elementos del sistema como los medios externos, se definen las etapas de vida del sistema, y para analizar una acción incriminada, una cierta energía debe de ser utilizada, transformada y transmitida entre dichos componentes. Para la representación de esto se consideran cuatro entidades: convertidor, transmisor, actuador y control, que generalmente están presentes en el sistema cuando se realiza determinada acción. Esta herramienta llamada diagrama CTA (Convertidor-Transmisor-Actuador), tiene como fin identificar cada una de las entidades que influyen en el trayecto funcional del sistema.

Para el estudio del problema que se describe en este trabajo se establecen dos etapas de vida que son a) enfriar aire (funcionamiento) y b) Retirar hielo (deshielo). En la Figura 3 se presentan las dos etapas de vida consideradas para el evaporador en cuestión. Se observa que para enfriar el aire se necesita una energía térmica que entra al sistema y la pared de tubería y aletas juega el papel como la entidad transmisora haciendo la función de transferencia de calor por medio de la convección/conducción, nótese que no existe en esta etapa una entidad convertidora. Enseguida la energía térmica pasa hacia la entidad actuadora que es la interface entre la pared de tubos-aletas y el aire húmedo (medio externo) que circula alrededor del evaporador y es aquí donde se realiza la transferencia de calor por convección que genera el enfriamiento del aire, como se puede observar en la Figura 3.a.

Para la etapa de vida de deshielo la energía inicial que se considera es la energía eléctrica, suministrada al subsistema de deshielo que cumple la función de entidad convertidora al transformar la energía eléctrica a energía térmica, conduciéndose hacia la pared de los tubos y aletas (transmisor), misma que envía la energía térmica al actuador como interface de pared de tubos-aletas y el hielo acumulado para que este sea derretido (retirado).

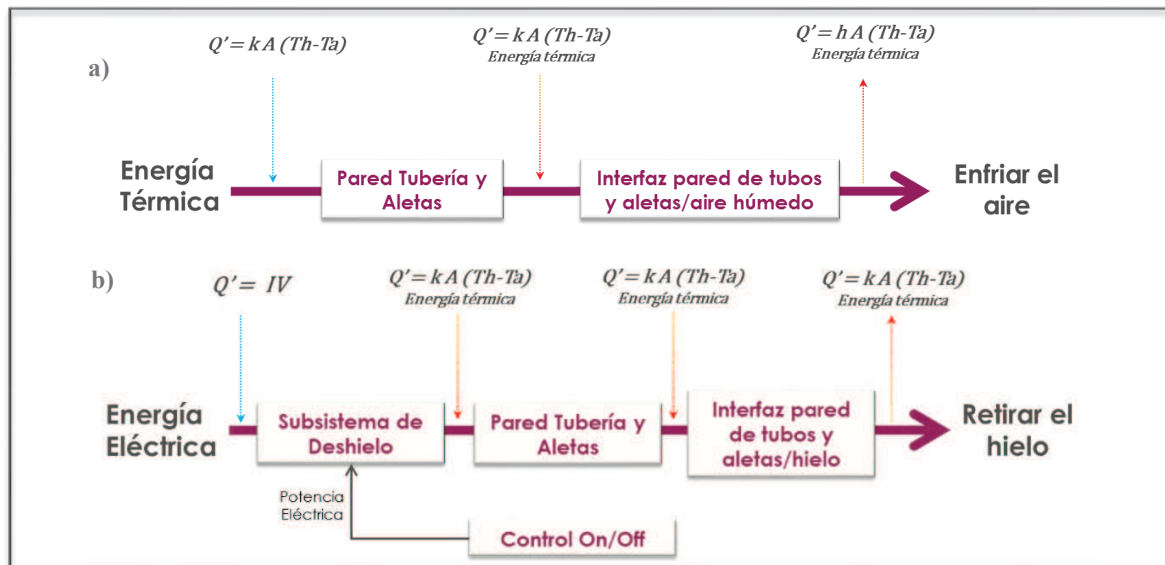


Figura 3. Diagrama CTA para las etapas de vida de a) enfriar el aire y b) retirar el hielo.

Análisis sustancia-campos

Esta herramienta permite esquematizar y complementar el análisis de la interacción entre los componentes del sistema y el medio, que intervienen en el funcionamiento del evaporador. Se resalta como sustancia al elemento con masa y volumen, y campos aquellos efectos físicos que realizan una acción. Los efectos pueden ser útiles, perjudiciales o insuficientes. En la Figura 4 se muestra estas interacciones por medio del diagrama de sustancia-campos, en donde se puede observar el problema de bloqueo debido a la generación de hielo producido por el efecto de condensación que realiza la pared del evaporador y aletas sobre el vapor de agua. El hielo se adhiere a las paredes del evaporador y produce un efecto deficiente de enfriamiento desde la pared hasta el aire húmedo.

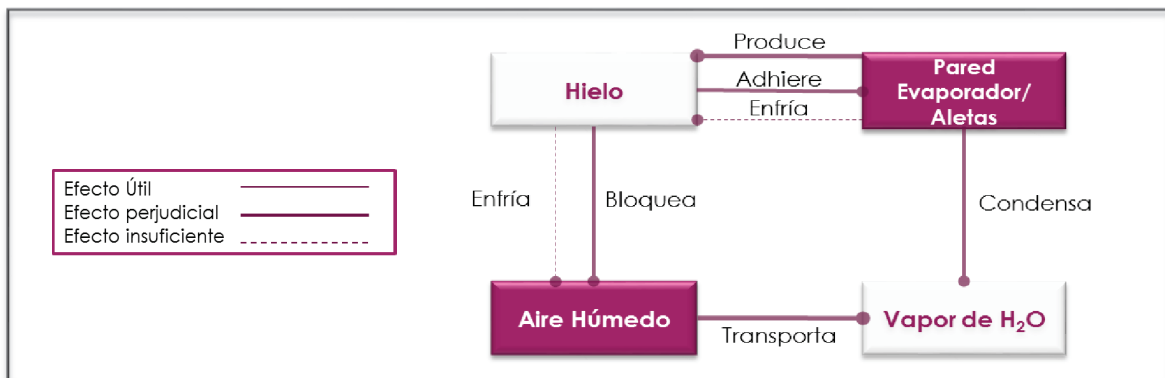


Figura 4. Diagrama Sustancia-Campos Efecto de Formación de Hielo

Se recomienda analizar los efectos y en medida de lo posible tratar de maximizar el desempeño de las funciones útiles, eliminar las funciones perjudiciales, expresar un sistema que tienda hacia lo inmaterial y no hacer más complejo el sistema.

8 Leyes de evolución.

El objetivo de esta herramienta es analizar las grandes líneas de evolución del sistema, evolución que está relacionada con los medios externos y sus componentes. La evolución de los medios externos depende

principalmente de los criterios funcionales que se identifican en el estado del arte. El análisis exhaustivo de los recursos y el estudio de productos de uso similar o funciones similares son antecedentes indispensables para la evaluación de las posibilidades o tendencias de evolución. Por lo que este análisis se ha basado en la revisión del estado del arte sobre evaporadores y de las soluciones semejantes de antifrosting. Las leyes o tendencias de evolución abarcan los siguientes campos:

1. Complementariedad entre las partes, conductividad energética (evolución de los campos),
2. Coordinación de los ritmos,
3. Incremento del nivel de perfeccionamiento,
4. Desarrollo desigual de las entidades,
5. Transición hacia los medios externos circundantes,
6. Transición hacia los medios externos,
7. Transición de un macronivel hacia un micronivel,
8. Incremento del dinamismo y del nivel de control.

Para cada una de las cuales se pondera la evolución del sistema con un valor de 0 a 3 en orden ascendente. Valores de 0 cuando no existe desarrollo alguno, 1 desarrollo insuficiente, 2 buen desarrollo pero puede ser mejorado y 3 el máximo desarrollo posible.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Con el estudio realizado, se ha logrado obtener dos clasificaciones principales de soluciones investigadas y desarrolladas hasta el día de hoy para atacar el problema que se presenta debido a la generación de hielo sobre la superficie exterior del evaporador:

a) Retirar el hielo: fuentes térmicas (resistencias eléctricas, fluidos calientes) y el uso de medios mecánicos (vibración, efecto piezoeléctrico) y efecto ultrasónico, entre otros, y

b) Evitar la formación de hielo: uso de capas de recubrimiento y cambio de geometría de las aletas, entre otros.

Se pueden observar de manera rápida las directrices de evolución por medio de la Figura 5, que muestra el radar de evolución para un evaporador antiescarcha.

Nótese que para cada ley aún hay oportunidad de mejora, y que se debe prestar especial atención en las leyes 2 y 3 que consideran la transmisión de energía con pérdidas importantes y la coordinación de los ritmos respectivamente. Sin embargo considerando las herramientas anteriormente descritas podemos observar que las tendencias de evolución con mayor impacto serían las que consideran el nivel de perfeccionamiento hacia la simplicidad del sistema (ley 4) y la transición hacia el micronivel (ley 7).

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de resultados del estado actual para cada una de las leyes de evolución para un evaporador antiescarcha. Se muestran las ponderaciones y los criterios considerados para estas según su nivel de desarrollo, conforme a la revisión del estado del arte.

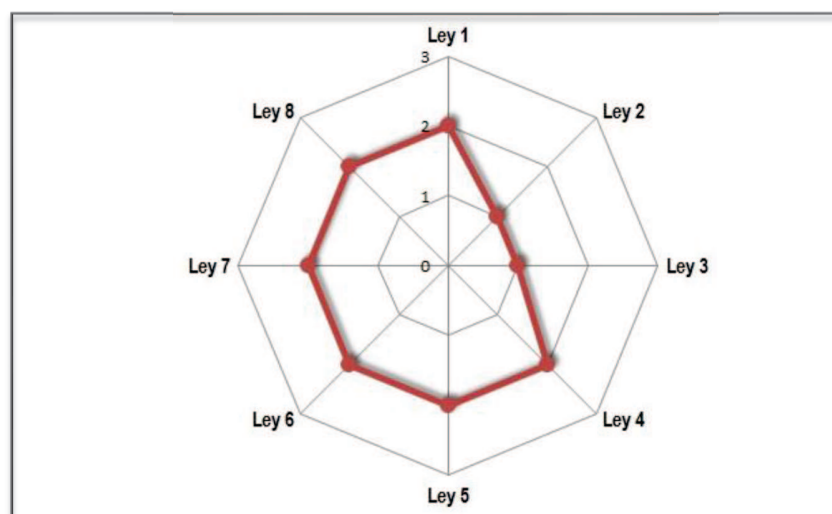


Figura 5. Radar de Evolución de un Evaporador Antiescarcha.

	Tendencia	Nivel	Criterio de calificación
Ley 1	Complementariedad entre las partes	2	Control Insuficiente. En el sistema la entidad controlada es Convertidor en la etapa de vida de deshielo. El control de la potencia eléctrica suministrada a la entidad auxiliar, para convertirla en energía térmica y calentar la superficie o fluido de trabajo y así poder derretir la escarcha generada en la etapa de vida de funcionamiento.
Ley 2	Transmisión de la energía	1	Pérdidas importantes. Se considera como pérdida importante a la ganancia de calor dentro del sistema, ya que la función principal es enfriar el aire. Han sido desarrolladas algunas soluciones en la entidad convertidora (subsistema de deshielo) donde la generación de calor excede a la cantidad de calor necesaria para el deshielo, la cual es ingresada al sistema.
Ley 3	Coordinación de los Ritmos	1	Inicio de Coordinación. En la etapa de vida de deshielo la entidad convertidora (subsistema de deshielo), se encuentra coordinada por el programa de control, en el cual está establecida a periodicidad de su funcionamiento, más sin embargo no se encuentra totalmente coordinada para evitar la formación de escarcha.
Ley 4	Incremento en el Nivel de Perfeccionamiento	2	En vías de Simplificación. Se ha incrementado la complejidad del sistema debido a la integración de subsistemas auxiliares para el deshielo. Se ha considerado la integración de soluciones generadas por campos como: el mecánico (vibraciones), acústico (ultrasónico), térmico (flujos calientes), químico (recubrimientos), eléctrico (resistencias).
Ley 5	Desarrollo desigual de las entidades	2	Varias entidades evolucionan. La evolución de las entidades ha sido independiente entre ellas. Han evolucionado con mayor relevancia la entidad convertidora (subsistema de deshielo), generándose diferentes soluciones para retirar la escarcha acumulada y en menor grado se ha desarrollado la forma o geometría de la entidad actuadora (interfaz tubos y aletas/ aire húmedo o hielo).
Ley 6	Transición Hacia los Medios Externos	2	Varias Asociaciones. El sistema también se ha desarrollado hacia el súper sistema, con el paso de un fluido caliente dentro del circuito de refrigeración y claro a través del evaporador para realizar la transferencia de calor hacia la superficie exterior de este y derretir el hielo formado, que es el caso de los sistemas de ciclo inverso.
Ley 7	Transición Hacia el Micronivel	2	Uso de campos o de las propiedades en el micronivel. Existe el uso de campos mecánicos, térmicos y eléctricos principalmente cuando hablamos de las soluciones de deshielo aplicadas actualmente. Se encuentra en desarrollo el perfeccionamiento del uso del campo químico por ejemplo con el uso de recubrimientos, los cuales alteran el ángulo de contacto entre la superficie exterior del evaporador y la gota de agua formada por la condensación del aire húmedo.
Ley 8	Incremento de la Dinamización y del Nivel de Control	2	Entidad dinámica. El sistema presenta evolución dinámica por el uso del uso de la vibración del evaporador, uso del efecto piezoeléctrico. Esto es un subsistema auxiliar que es gobernado y puesto en marcha por el control del sistema de refrigeración.
Cuadro 1. Resumen de resultados de las tendencias de evolución aplicadas al problema de formación de escarcha en un evaporador.			

Se recomiendan las directrices de evolución siguientes: Ley 1. Tendencia hacia el autocontrol, Ley 2. Incremento en el control de campos energéticos, Ley 3. Aumento del número de entidades coordinadas, Ley 4. Combinación de elementos que aseguren las funciones idénticas / Sustancias inteligentes, Ley 5. Eliminación de contradicciones físicas, Ley 6. Integración de funcionalidades de los medios circundantes al sistema (bi-sistemas y poli sistemas), Ley 7. Evolución hacia los micro sistemas y Ley 8. Las entidades no controlables se convierten en controlables

Conclusiones

Después de un exhaustivo análisis de las soluciones existentes para resolver el problema; se han establecido las directrices del concepto de diseño para un evaporador antiescarcha, considerando una solución "micronivel", según las tendencias de evolución de los sistemas técnicos.

Se sugiere, estudiar la adherencia de hielo sobre la superficie exterior del intercambiador, como factor a considerar para evitar la formación de hielo. Soluciones actuales (deshielo) se enfocan a corregir el problema y no a evitarlo. Estos resultados permitirán establecer el concepto de diseño a ser experimentado y posiblemente patentado.

Los investigadores interesados en desarrollar un nuevo concepto de diseño de un evaporador antiescarcha deberían de enfocarse en las leyes menos desarrolladas que aquí se presentan y enfocar sus esfuerzos en evitar la formación de hielo sobre la superficie exterior de evaporador, afectando directamente a este componente sin la utilización de un subsistema adicional que haga una función de deshielo, ya que esta como se menciona anteriormente ingresa componentes y calor al sistema, lo que va en contra de la función principal que es enfriar el aire.

Recomendaciones

Del estudio anterior resultan las siguientes recomendaciones:

1. Aplicar otros campos a nivel experimental y comercial (magnetismo, acústico y químico)
2. Experimentar las nuevas soluciones
3. Integrar las nuevas soluciones a nivel comercial.

Referencias

Çengel, Y. A., "Transferencia de calor," *McGraw-Hill*, 1ª edición en español, México, 2004.

Zhongliang, L., W. Hongyan, Z. Xinhua, M. Sheng y M. Chong fang. "An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with the uncoated metallic surface," *International Journal of Refrigeration*, Part I, 30 mayo 2005.

Nadeau J.P., Pilhes J., Luna D., "Metodología de Diseño Preliminar. Herramientas Metodológicas de Apoyo a la Innovación MAL'IN". Vx. 0, FRANCIA, 2012.