



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

PROGRAMA DE USAID DE EXCELENCIA
AMBIENTAL Y LABORAL PARA CAFTA-DR

Guía de prácticas de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración industrial

Julio 2011



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

PROGRAMA DE USAID DE EXCELENCIA
AMBIENTAL Y LABORAL PARA CAFTA-DR

Guía de prácticas de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración industrial

Julio 2011

La elaboración de este material ha sido auspiciada por el Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de este informe es responsabilidad de Chemonics International Inc. y su subcontratista Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes, S.A. de C.V. (CySTE), y no necesariamente refleja la opinión de la USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

Agradecimientos

La presente guía está dirigida al personal técnico con responsabilidad en las áreas operativas o de mantenimiento de los sistemas de refrigeración industrial, con el propósito de presentar acciones de ahorro de energía encaminadas a reducir el consumo de energía eléctrica y, en consecuencia, una reducción en los costos de operación, y en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Además, dichas recomendaciones, aquí vertidas, son de fácil ejecución, por lo que las empresas no tendrán problemas en llevar a cabo la implementación de las mismas.

El contenido de esta guía es responsabilidad de Chemonics International Inc. y su subcontratista Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes, S.A. de C.V. (CySTE), y no necesariamente refleja la opinión de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

Participaron en la elaboración de la presente guía por parte del Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral para CAFTA-DR (el Programa):

ing. Salvador Vega Prado L, Especialista en Producción Más Limpia
Lic. Carlos Enrique Arze, Asesor experto en Producción Más Limpia

Por la empresa Chemonics International Inc., a través de CySTE:

Ing. María del Carmen Botello García
Ing. Rufino Demillón Pascual
Ing. Moisés Ángel Lino Linares
Ing. Ignacio Sánchez Rosales
Ing. Rubén Torres Gutiérrez

La distribución, reproducción o consulta del presente documento por terceros deberá ser autorizada por las partes que participaron en su elaboración: la Empresa Consultora Chemonics International Inc. y CySTE, así como la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

Índice

I ANTECEDENTES	iv
II INTRODUCCIÓN	1
III OBJETIVOS Y ALCANCES	3
IV CONCEPTOS BÁSICOS	4
IV.1 Sistemas de refrigeración	6
a) Ciclo de refrigeración	7
b) Carga de enfriamiento (carga térmica)	9
c) Refrigerantes	10
IV.2 Eficiencias del sistema	11
IV.2.1. Eficiencia energética en el evaporador	11
IV.2.2 Índice de rendimiento	11
V GUÍA DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL	12
V.1 INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y BRIDAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, EN LAS SECCIONES FRÍAS	13
V.2 NIVEL ÓPTIMO DE CARGA DE REFRIGERANTE	16
V.3 DISMINUIR LAS MALAS PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO Y OPERATIVAS, EN LAS CÁMARAS FRÍAS	18
V.4 CAMBIO DE REFRIGERANTE TRADICIONAL POR ECOLÓGICO	21
V.5 MONITOREO DE VARIABLES DE IMPORTANCIA E INCLUSO, EN SISTEMAS IMPORTANTES Y PRIORITARIOS, LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL PARA UNA ADECUADA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	24
V.6 MANTENIMIENTO, CORRECTA OPERACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE LA UNIDAD CONDENSADORA PARA UN MEJOR DESEMPEÑO ...	26
V.7 MANTENIMIENTO Y CORRECTA OPERACIÓN DE LA UNIDAD EVAPORADORA PARA UN MEJOR DESEMPEÑO	28
V.8 RECOMENDACIONES VARIAS	32
VI BIBLIOGRAFÍA	34

Índice de Tablas

Tabla 1. Participación porcentual en el consumo de energía eléctrica total de las empresas, por la utilización de la refrigeración en algunos sub-sectores industriales del sector alimenticio del reino unido	1
Tabla 2. Medidas y recomendaciones de ahorro energía en los sistemas de refrigeración	12
Tabla 3. Información general de algunos aislamientos térmicos para bajas temperaturas.	15
Tabla 4. Problemas identificados que causan fuga de aire frío de las cámaras refrigeradas y mayor número de horas de operación de los compresores (mayor consumo de energía)	20
Tabla 5. Refrigerantes ecológicos que sustituyen al R-12	23
Tabla 6. Refrigerantes ecológicos que sustituyen al R-12	23

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Escalas de temperatura	5
Ilustración 2. Cámara de refrigeración y elementos que la integran	7
Ilustración 3. Tuberías y accesorios del sistema de refrigeración, en la parte fría, sin aislamiento térmico.	13
Ilustración 4. Aislamiento elastomérico en presentación de tubo y láminas y su forma de instalarlo en válvulas y tuberías	14
Ilustración 5. Desajuste del sistema de cierre hermético en las puertas de las cámaras refrigeradas debido a falta de mantenimiento.	19
Ilustración 6. Un tipo de barrera térmica para cuartos fríos; cortinas plásticas de pvc	20
Ilustración 7. Unidades condensadoras en mal estado (daños en aletas, radiadores sucios, expuestos al sol)	27
Ilustración 8. Evaporador con problemas de mantenimiento.	28
Ilustración 9. Malas prácticas de almacenamiento de producto en la cámara de refrigeración	29
Ilustración 10. Correcta ubicación de la unidad evaporadora y óptima distribución del aire en una cámara frigorífica	30
Ilustración 11. Suciedad en los tubos y aletas de la unidad evaporadora	31
Ilustración 12. Formación de hielo en evaporadores.	31

I Antecedentes

Dentro del marco del “Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral para CAFTA-DR” (el Programa), implementado por Chemonics International y como parte del “Proyecto de Eficiencia Energética en el Área Térmica”, dirigida al sector industrial pertenecientes a la región de Centro América, se realizó la presente guía que describe e ilustra las buenas prácticas para el ahorro de energía enfocadas a los sistemas de refrigeración industrial, con el propósito de volver más eficientes estos sistemas mediante la implementación de mejoras de eficiencia energética, las cuales son expuestas de una manera clara y sencilla a través del presente documento.

Como resultado de la ejecución de estas acciones, se obtendrán beneficios en las empresas, incrementando su competitividad al reducir los costos directos derivados de la compra de energía eléctrica, además de mejorar la condición operativa y de mantenimiento de las instalaciones. A la par, se espera reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos, tanto locales como los gases de efecto invernadero.

Una característica importante de la presente guía es que es aplicable y accesible a un rango muy amplio de empresas, que van desde pequeñas hasta grandes empresas. Complementario a lo anterior, la guía puede ser aplicada tanto por personal de mantenimiento, personal involucrado en producción, como por personal de ingeniería.

II Introducción

La refrigeración industrial es un sistema importante en el consumo de energía eléctrica de varias industrias. A manera de ejemplo, en la Tabla 1 se presenta el consumo de la energía eléctrica que representa el sistema de refrigeración en el sector alimenticio¹ y en particular para algunos sub-sectores industriales de dicho sector del Reino Unido.

Tabla 1. Participación porcentual en el consumo de energía eléctrica total de las empresas, por la utilización de la refrigeración en algunos sub-sectores industriales del sector alimenticio del Reino Unido.

Sub-sector del sector alimenticio	Contribución porcentual de los sistemas de refrigeración en el consumo total de energía [%]
Productos lácteos	30
Helado	70
Productos cárnicos	50
Pescado	50
Frutas y vegetales	70
Chocolate	20
Cerveza	30

Tal y como se aprecia en la tabla anterior, la contribución porcentual de los sistemas de refrigeración en el consumo total es importante, ya que va desde un 20% del consumo total hasta un 70%. A pesar de ser tan alto el porcentaje de consumo de energía eléctrica en la industria, por los sistemas de refrigeración, por lo general, las empresas no tienen como práctica el evaluar su desempeño, ni proponer mejoras en sus instalaciones. Se piensa que una de las razones para no mejorar los sistemas de refrigeración se debe, a que “el frío” no le proporciona al producto ninguna transformación, ni aumenta su cantidad, por lo que el valor económico que le corresponde a los sistemas de frío no está contemplado como algo que se debe mejorar, a diferencia de otros equipos que “modifican” al producto; esto a pesar de que el sistema de frío, ya sea la conservación o congelación de alimentos le proporcionan un alto valor al producto, al “mantenerlo” por largos periodos. Sin embargo, sí hay un costo de la energía eléctrica consumida por este servicio, el cual impacta directamente en el precio final de los productos manejados, el cual puede ser reducido significativamente a través de la implementación de acciones de ahorro.

¹ Cabe señalar que la aplicación de la refrigeración es mucho más amplia que el sector alimenticio. La refrigeración industrial abarca también el sector químico, farmacéutico, metalúrgico, transporte y en la recreación, entre otras actividades industriales.

En suma, la eficiencia energética como también es conocida, busca reducir algunos de los costos operativos de las empresas, como mitigar los impactos negativos al ambiente, esto mediante la implementación de una serie de medidas y recomendaciones que han sido observadas, analizadas y documentadas, a partir de la realización de diagnósticos energéticos, así como de la revisión y análisis de documentos especializados en el tema.

La presente guía ha sido desarrollada por técnicos especialistas en el tema y tiene el objetivo de servir como una referencia en la implementación de medidas de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración industrial.

En virtud de lo anterior, la “Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para los Sistemas de Refrigeración Industrial” recopila y presenta aquellas acciones más frecuentes y que han demostrado ser confiables, que se pueden emprender en la industria para reducir u optimizar el consumo de energía, sin afectar el servicio, ni la vida útil de los equipos, utilizándola de manera eficiente, lo cual conllevará a un menor impacto ambiental.

III Objetivos y alcances

El objetivo principal de la presente guía es exponer una serie de medidas y recomendaciones de buenas prácticas (operativas, de mantenimiento o de mejora en las instalaciones), que fueron identificadas, evaluadas y que en una gran mayoría, fueron implementadas por un grupo de empresas diagnosticadas en la región centroamericana y en México, principalmente. Las recomendaciones y prácticas, recogidas en este documento, permitirán a otras empresas implementarlas, para mejorar el uso de la energía y, con ello, optimizar el consumo de combustible, y reducir la generación de contaminantes atmosféricos.

Con el cumplimiento de este objetivo, los beneficios que se esperan alcanzar son:

- Reducir el consumo de energía eléctrica;
- Disminuir los costos en la facturación de la energía eléctrica;
- Incrementar la productividad;
- Alcanzar menores tiempos de producción;
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones;
- Mejorar las condiciones de seguridad al personal;
- Reducir y mitigar la emisión de contaminantes atmosféricos (gases refrigerantes y gases de efecto invernadero).

La guía está elaborada con un lenguaje sencillo, esto no implica que deje de tener la rigurosidad técnica que amerita un documento de este tipo. Por ello, la guía podrá ser utilizada tanto por el personal de mantenimiento, de producción (procesos) o de ingeniería. En este sentido, ingenieros, técnicos, como operarios podrán interpretar e implementar las recomendaciones que en este documento se vierten.

Por otro lado, si bien, las recomendaciones son de carácter general, se recuerda que siempre se deberá tomar en cuenta las sugerencias y las observaciones que indiquen los fabricantes de los equipos en cuestión, ya que éstos conocen en mayor detalle las particularidades de los equipos y sistemas. Por esta razón, se recomienda que nunca se deje de consultar a los técnicos especialistas.

IV Conceptos básicos

A continuación se presentan los conceptos básicos que se requieren para la correcta interpretación de la guía; en primera instancia, se presenta a groso modo los conceptos de temperatura y presión; posteriormente se dan los tópicos más relevantes de los sistemas de refrigeración donde se describe los elementos que los integran, así como una explicación sobre el ciclo de refrigeración, con esto se conforman las bases para la correcta comprensión de la guía.

Antes de definir algunas propiedades de la refrigeración industrial, a continuación se presentan algunos conceptos básicos que facilitarán la comprensión del manejo de la refrigeración.

Concepto de temperatura

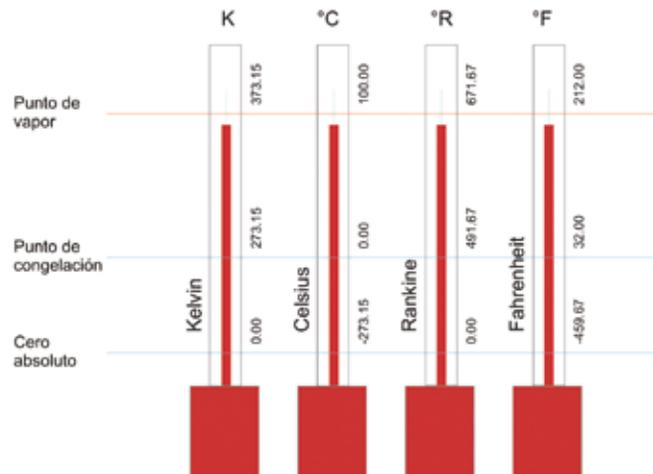
La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o frío puede estar un cuerpo sólido, un líquido o un gas. Se mide mediante un termómetro. Su funcionamiento se basa en que cuando dos cuerpos, que tienen temperaturas diferentes se ponen en contacto, después de cierto tiempo ambos alcanzan la misma temperatura, registrándose la temperatura que ambos han alcanzado.

De acuerdo al sistema de unidades, en el que se esté trabajando (internacional o inglés), existe una escala de registro de la temperatura.

En el caso del sistema internacional se utilizan los grados centígrados (°C) y para la temperatura absoluta los grados Kelvin (K). Mientras que en el sistema inglés, la temperatura es medida en grados Fahrenheit (°F) y la escala absoluta en grados Rankine (°R).

Para mostrar las cuatro escalas, en la Ilustración 1 se presenta cada una de ellas, donde se observan tres referencias basadas en el agua y que son su temperatura de evaporación, el punto de congelación y el cero absoluto que, en cada una de las cuatro escalas, corresponde a valores diferentes.

Ilustración 1. Escalas de Temperatura



Fuente: CySTE

Concepto de presión

La presión es la fuerza ejercida por un fluido (gas o líquido, fundamentalmente) en la unidad de superficie de las paredes del recipiente que lo contenga. Esta se mide por medio de un manómetro.

Las unidades de la presión están dadas en (kg/cm^2 , lb/pulg^2 (psi), bar y atmósfera entre las más usadas). Los manómetros miden la presión manométrica, es decir, la presión arriba de la presión atmosférica².

Para obtener la presión absoluta hay que sumar a la lectura del manómetro, la presión atmosférica. Cabe mencionar que la presión atmosférica debe de ser la del lugar donde se han realizado las mediciones. La presión atmosférica se mide con un barómetro, o bien, el valor de la presión atmosférica del sitio se lo puede encontrar en los datos locales del servicio meteorológico.

² La presión atmosférica es la presión ejercida por el aire atmosférico en un punto de la tierra donde se la desee medir, varía de acuerdo a la altura del punto de medición con respecto al nivel medio del mar.

IV.1 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración tiene como objetivo proveer frío a un cierto ambiente u objeto por debajo de la temperatura ambiente. Otra definición es que la refrigeración es la transferencia de calor, desde un lugar donde no se la desea a otro lugar donde no importa cederlo³. Por lo general, las actividades de la refrigeración se enmarcan en la conservación o congelación de alimentos, principalmente, y en la fabricación de hielo.

Elementos que componen un sistema de refrigeración

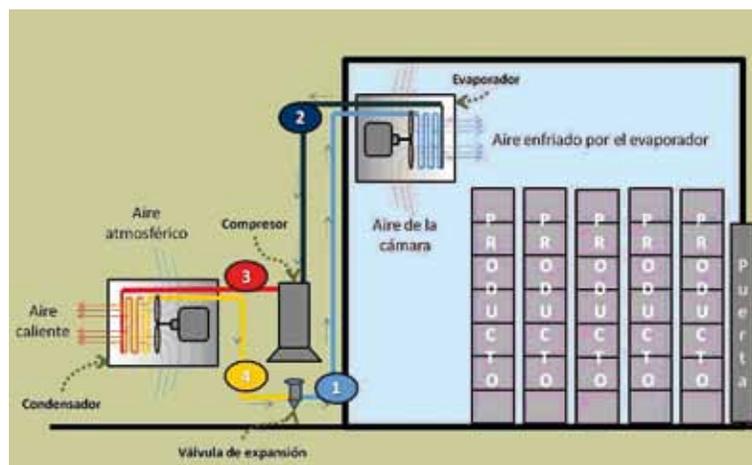
1. **Compresor:** la función del compresor es la de aumentar la presión al gas (fluido) refrigerante que se succiona del evaporador, con la finalidad de llevarlo a una presión y, fundamentalmente, a una temperatura superior a la del medio ambiente, con el objetivo de aprovechar esta diferencia de temperatura, para transferir el calor absorbido en el evaporador, al medio ambiente.
2. **Evaporador:** es un intercambiador de calor, donde el refrigerante, a una temperatura menor que la del cuarto o recinto frío (incluido en este los productos contenidos), absorbe el “calor” de éste, enfriando a la vez el recinto o cuarto, así como los productos contenidos en el cuarto. En este proceso de absorción de calor, el fluido refrigerante cambia de su estado de líquido frío a gas caliente, es decir se lleva a cabo un proceso de evaporación, que es lo que le permite “absorber” grandes cantidades de calor.
3. **Condensador:** es un intercambiador de calor, donde el refrigerante que proviene de la descarga del compresor como gas a alta presión y temperatura (fundamentalmente una temperatura superior a la del medio ambiente), ingresa al condensador, en donde transfiere su calor al medio ambiente, y, de manera ideal, sale en forma de líquido, es decir el gas se condensa.
4. **Dispositivo de control (válvula de expansión):** uno de los objetivos del dispositivo es regular la cantidad de refrigerante que llega al evaporador, siendo el objetivo principal el causar una caída de presión en el refrigerante líquido, llevándolo de una presión alta (lado condensador) a una presión baja (lado evaporador), en donde también se logra conseguir que la temperatura del refrigerante baje a un valor por debajo de la temperatura del recinto a enfriar. Esto permite que, al existir un gradiente de temperatura “adecuado”, el refrigerante, a baja temperatura, absorba el calor del recinto y de los productos que contiene, a través del evaporador.

En la Ilustración 2 se muestra una cámara de refrigeración típica. En ella se aprecian los elementos que integran el sistema de refrigeración, que fueron descritos en los párrafos anteriores: en la válvula de expansión, parte del líquido se evapora, disminuyendo su presión y temperatura. Esta mezcla de gas y líquido entra al radiador del evaporador, donde absorbe el calor del aire que se encuentra en la cámara fría. Dicho aire es movido por un ventilador el que, además de mover el aire, incrementa la efectividad del enfriamiento. Con esta acción se logra la temperatura deseada al interior de la cámara.

³ Esta última definición abre la puerta a que la energía que se cede pueda ser aprovechada, esto es, que se utilice para el calentamiento de alguna sustancia, como puede ser agua.

Una vez que el refrigerante absorbió el calor del interior de la cámara y se evaporó, quedando como gas, éste pasa a la línea de succión del compresor (punto 2), donde al gas se le incrementa la presión y la temperatura. Posteriormente, el gas a altas presión y temperatura (superior a la del medio ambiente) sale del compresor (punto 3), y entra al condensador, donde el refrigerante pasa por una serie de serpentines que son enfriados mediante aire atmosférico. En este paso el refrigerante cede calor al medio ambiente, por lo que se envía aire caliente al ambiente y el refrigerante gaseoso se condensa quedando en estado líquido. El refrigerante líquido sale del condensador para dirigirse a la válvula de expansión (punto 4), donde al pasar por ella, el refrigerante en forma líquida a alta presión, se evapora parcialmente disminuyendo su presión y temperatura y se dirige al evaporador, repitiendo el ciclo.

Ilustración 2. Cámara de refrigeración y elementos que la integran



Fuente: CySTE

a) Ciclo de refrigeración

En la Gráfica 1 se presenta el ciclo de refrigeración mediante la curva presión (P) vs. calor (Q). Con el propósito de explicar el ciclo se partirá desde el punto 1 al punto 2. En este sentido, en el punto 1⁴, la mezcla del líquido-gas del refrigerante entra al evaporador. Como la presión y temperatura en el evaporador es baja y menor a la de la cámara de refrigeración, el líquido refrigerante se vaporiza rápidamente convirtiéndose en gas a la misma presión de entrada.

En el evaporador, al evaporarse, el líquido frío absorbe el “calor” del aire que circula por el exterior del serpentín del evaporador. Una vez que absorbe el calor, el refrigerante se evapora llegando al punto 2.

El gas, en este punto 2, llega al compresor mediante la línea de succión, donde es comprimido a altas presión y temperatura (punto 3). En el proceso de compresión, al gas se le agrega calor sensible, por lo que sufre un sobre calentamiento, prueba de esto es que la temperatura del gas refrigerante es entonces más alta que la del aire que rodea al condensador.

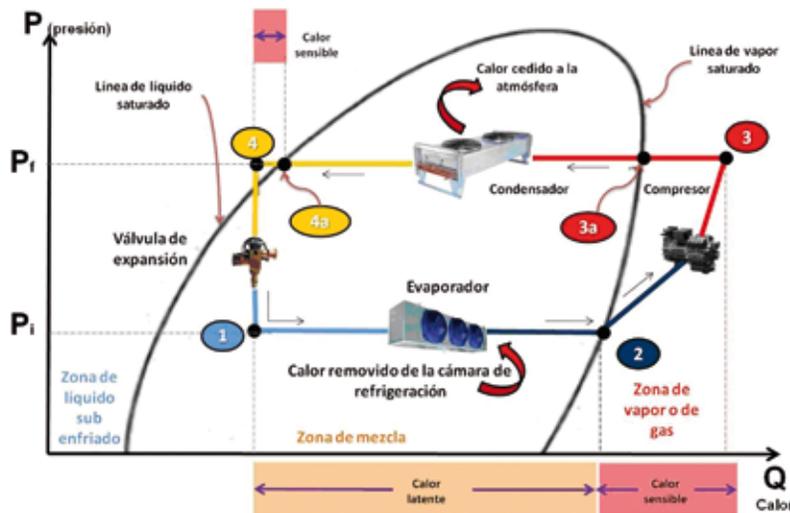
.....
⁴ En este punto el refrigerante aproximadamente es 92% líquido y 8% es gas.

En el condensador (del punto 3 al punto 4), el aire que pasa a través de los tubos del radiador transfiere el calor que lleva el gas caliente a alta presión, al medio ambiente, por lo que el gas se condensa (punto 4). El intercambio de calor logrado por el condensador involucra tres pasos que son:

1. Desobrecalentar: es para remover el sobrecalentado del refrigerante entrando al condensador, esto es eliminación de calor sensible, del punto 3 a la línea de líquido saturado (punto 3a), esto representa aproximadamente el 14% del cambio total que ocurre en el condensador.
2. Condensar: el refrigerante cambia de fase, de gas saturado (punto 3a) a líquido saturado (esto se lleva a presión constante, donde se elimina el calor latente), del punto 3a al punto 4a, partiendo de la línea de vapor saturado a la línea de líquido saturado. Este calor latente removido del refrigerante es transferido al fluido que se esté utilizando para el enfriamiento, ya sea aire o agua. Este paso representa aproximadamente el 81% del cambio total que ocurre en el condensador.
3. Sub enfriar: por último, el refrigerante sigue enfriándose, por lo que se le retira calor sensible. En este punto el refrigerante es completamente líquido y tiene un sub enfriamiento (del punto 4a al punto 4).

Desde el condensador, el refrigerante se almacena en un depósito, donde se encuentra en estado líquido y caliente. De ahí el refrigerante va a la válvula de expansión, donde se controla otra vez el caudal que entra al evaporador, y el ciclo se repite sucesivamente.

Gráfica 1. Presión vs. Calor (ciclo de refrigeración)



Fuente: CySTE

Cabe señalar que cada sistema de refrigeración funciona con dos niveles de presión definidos. La presión del lado de alta está representada por P_f y es la presión de la descarga del compresor (punto 3) hasta el punto 4. La presión por el lado de baja está indicada en la gráfica por P_i . Esta presión se manifiesta después de la válvula de expansión hasta la succión del compresor, pasando por el evaporador.

Nota: Un cambio de estado siempre tiene lugar a las condiciones de saturación, por lo tanto si las presiones de evaporación y condensación son conocidas, las correspondientes temperaturas pueden encontrarse remitiéndose a las tablas o gráficas de las relaciones presión-temperatura, correspondiente al refrigerante en uso.

b) Carga de enfriamiento (Carga Térmica)

Con el propósito de tener en operación y en óptimas condiciones de funcionamiento una cámara fría y por ende, su contenido (producto), o bien, congelar un producto, es necesario determinar de manera correcta el calor a extraer (carga térmica) que se encuentre en su interior. Una vez alcanzada la temperatura deseada, para sostener dicha temperatura, es necesario retirar las cargas térmicas, tales como el calor del sol, la de las personas, la de la iluminación, la de los productos, la de los contenedores y la de otros materiales en el interior de la cámara.

La carga térmica a retirar define el tamaño de los equipos que integrarán el sistema de refrigeración. Por ello la importancia de definir y calcular la carga térmica de manera correcta, pero sin sobredimensionarla, ni limitarla, ya que esto va en detrimento de los costos de inversión, o de los costos de operación, o ambos. A continuación se presenta los puntos relevantes en las “fuentes” de la carga térmica total:

- Carga térmica por transmisión; ésta es la cantidad de flujo de calor a través de los muros, pisos y techos.
- Carga térmica por cambio de aire; es el aire que se infiltra por las puertas, o bien, de las infiltraciones de los sellos de la puerta. En cualquiera de los casos, es el aire exterior que ingresa a la cámara, con una temperatura mayor que la del aire interior, incrementando la carga térmica.
- Carga térmica miscelánea; está compuesta por la iluminación, motores eléctricos (ventiladores), y ocupación (tiempo de permanencia del personal dentro de la cámara).
- Carga térmica por producto; siempre que un producto tenga una temperatura más alta y sea colocado en una cámara de refrigeración o congelación, el producto perderá su calor hasta alcanzar la temperatura de congelamiento o de almacenamiento. Esta carga térmica consta de cuatro componentes que se definen a continuación:
 - o Calor específico. Es la cantidad de calor que debe de ser removido de una unidad de masa del producto para reducir su temperatura en un grado. Tiene dos valores: uno aplicado cuando el producto está por encima del punto de congelación; el segundo, después de que el producto ha alcanzado su punto de congelación.
 - o Calor latente de fusión. Es la cantidad de calor que debe eliminarse por una unidad de masa de producto para congelarlo. La mayoría de los productos tienen un punto de congelación en el rango de 26°F a 31°F. Si la temperatura exacta es desconocida, puede considerarse que es de 28°F.
 - o Respiración. Como las frutas frescas y los vegetales están vivos al momento de ser refrigerados, generan calor, el cual es llamado calor de respiración. Dicho calor varía con el tipo y la temperatura del producto. Los valores del calor de respiración son generalmente tabulados en BTU/lb/24h y son aplicados al peso total del producto que se almacena y no sólo lo retirado diariamente.
 - o Tiempo de abatimiento. El tiempo de abatimiento es el tiempo necesario para bajar la temperatura de los productos, desde la temperatura inicial, hasta la temperatura deseada.

c) Refrigerantes

El gas refrigerante es el fluido de trabajo que es utilizado en el sistema de refrigeración, el cual puede absorber y transportar grandes cantidades de calor. Lo puede hacer debido a que cambia de estado. El líquido absorbe calor cuando tiene una baja presión y cambia de fase (líquido a vapor) y lo libera cuando está en alta presión y en fase gaseosa. El uso de estos dependerá de las aplicaciones que se requiera. El refrigerante debe de satisfacer dos importantes requisitos:

- Debe absorber el calor (evaporarse), a una temperatura menor a la requerida por el producto a enfriarse, refrigerarse o congelarse, esto para poder retirar el calor al recinto y al producto de interés;
- Debe ceder calor (condensarse) a una temperatura superior a la del ambiente donde va a enviar el calor retirado al recinto y producto de interés.

Un refrigerante debe tener las siguientes propiedades:

- Ser químicamente inerte: no ser inflamable, ni tóxico, ni explosivo;
- No reaccionar desfavorablemente con los aceites o materiales empleados en la construcción de los equipos frigoríficos (hierro, cobre, aluminio, etc.);
- No reaccionar desfavorablemente con la humedad que, a pesar de las precauciones que se toman, aparece en toda instalación;
- El refrigerante ha de poseer unas características físicas y térmicas que permitan el máximo de rendimiento en los equipos;
- La relación presión-temperatura debe ser tal, que la presión en el evaporador, para la temperatura de trabajo, sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga;
- El punto de congelación deberá ser inferior a la temperatura mínima de trabajo;
- De bajo precio y fácil disponibilidad.

En la actualidad existen tres tipos de refrigerantes comúnmente utilizados y pertenecen a la familia de los hidrocarburos halogenados. Cabe mencionar que los que a continuación se enlistan deben de ser sustituidos debido al protocolo de Montreal:

1. **CFC: (Flúor, Carbono, Cloro)**; Clorofluorocarbono totalmente halogenado, no contiene hidrógeno en su molécula química y por lo tanto es muy estable; esta estabilidad hace que permanezca durante largo tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es una de las causas del efecto invernadero (R-11, R-12, R-115). Está prohibida su fabricación desde 1995.
2. **HCFC: (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro)**; es similar al anterior, pero con átomos de hidrógeno en su molécula. La presencia de hidrógeno le confiere menos estabilidad, en consecuencia, se descompondrá en la parte inferior de la atmósfera y no llegará a la estratosfera. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono. Su desaparición está prevista para el año 2015 (R-22) y desde 2004 ya no se fabrican equipos que lo utilicen.

3. **HFC: (Hidrógeno, Flúor, Carbono)**; es un Fluorocarbono sin cloro, con átomos de hidrógeno sin potencial destructor del ozono dado que no contiene cloro (R-134a, 141b) y tienen menor potencial de calentamiento global que los CFC.

Tal como se mencionó, los refrigerantes anteriores deben ser sustituidos por refrigerantes llamados ecológicos, los cuales se mencionan en la medida V.4 Cambio de refrigerante tradicional por ecológico.

IV.2 Eficiencia del sistema

IV.2.1. Eficiencia energética en el evaporador

El concepto de C.O.P. (Coefficient of Performance) en refrigeración, es sinónimo de Eficiencia Energética en el evaporador. C.O.P. se define “oficialmente” como: “La cantidad de refrigeración obtenida de una máquina, dividida entre la cantidad de energía que se requiere aportar para conseguir esta refrigeración” (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, 1993). En este cómputo no se incluyen los consumos auxiliares de energía eléctrica necesarios para el funcionamiento de bombas y ventiladores.

$$\text{COP} = \frac{\text{Calor retirado (watts o watts hora térmicos)}}{\text{Potencia Utilizada (watts o watts hora eléctricos)}}$$

$$\text{COP} = \frac{W_t}{W_e} = \frac{W_t}{W_e}$$

IV.2.2. Índice de rendimiento

Una relación de eficiencia, empleada para medir el comportamiento energético de los sistemas de refrigeración, es el Energy Efficiency Ratio (EER), que se define como; “la relación entre las unidades de energía de enfriamiento QB, expresadas en BTU/h y la potencia instalada en el sistema, en watt, para un punto instantáneo de operación.”

$$\text{EER} = \frac{\text{Efecto neto de enfriamiento}}{\text{Potencia eléctrica consumida}}$$

$$\text{EER} = (\text{BTU/h}) / \text{watt}$$

El desempeño de un equipo de aire acondicionado es comúnmente expresado en términos del Energy Efficiency Rating (EER), que es la cantidad de calor removido del espacio, en cuestión, en BTU por cada watt hora de electricidad consumida. Si un kWh equivale a 3.412 BTU, entonces 1 Wh son 3,412 BTU. La relación entre EER y COP es:

$$\text{EER} = 3.412 \text{ COP}$$

V Guía de medidas de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración industrial

En el presente capítulo se describen algunas medidas de eficiencia energética en sistemas de refrigeración industrial, que han sido documentadas y analizadas durante el desarrollo de diagnósticos energéticos en este tipo de sistemas, en diversas empresas.

Si bien los sistemas de refrigeración industrial son sistemas importantes en el consumo de energía eléctrica en varias empresas, recién ha sido, desde hace pocos años, que se ha despertado el interés por mejorar su desempeño. Esto se ha debido fundamentalmente al incremento desmedido en el costo de la energía eléctrica. Además, cabe hacer notar que es en empresas pesqueras, bajo la situación mundial de baja, en la pesca, y de incremento constante en los insumos, donde se genera la búsqueda de alternativas que les permita disminuir sus costos operativos, con el objetivo de subsistir, ya que de otra manera desaparecerán.

En la Tabla 2 se presentan, tanto las medidas, como las recomendaciones de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración que con base en la experiencia, se han identificado. En dicha tabla se muestra el porcentaje de reducción en el consumo de energía eléctrica que se puede lograr al implementar las medidas que se describe más adelante. La reducción de energía está referenciada al consumo total de energía eléctrica del sistema de refrigeración. La rentabilidad de dichas inversiones está basada a través del periodo simple de recuperación de la inversión (PSRI), indicado de igual manera a través del tiempo promedio registrado para recuperar la inversión vía el ahorro en energía. El listado de las medidas se ordenó en función del PSRI, de menor a mayor, para los casos en los que se tiene este dato documentado.

Tabla 2. Medidas y recomendaciones de ahorro energía en los sistemas de refrigeración

No.	Medida	Reducción en el consumo de energía	PSRI
		%	mes
1	Instalación de aislamiento térmico en tuberías, válvulas y bridas del sistema de refrigeración, en las secciones frías	1 - 4	5 - 12
2	Nivel óptimo de carga de refrigerante	1 - 2	6
3	Disminuir las malas prácticas de mantenimiento y operativas, en las cámaras frías	4 - 8	12
4	Cambio de refrigerante tradicional por ecológico	10 - 15	6
5	Monitoreo de variables de importancia e incluso, en sistemas importantes y prioritarios, la automatización de los sistemas de monitoreo y control para una adecuada operación del sistema de refrigeración	10 - 15	12 - 36
6	Mantenimiento, correcta operación y reducción de la carga térmica de la unidad condensadora para un mejor desempeño	2 - 6	< 12
7	Mantenimiento y correcta operación de la unidad evaporadora para un mejor desempeño	2 - 6	< 12
8	Limpieza Evaporador-Condensador	4 - 8	2 - 5
9	Instalación del aislamiento térmico óptimo en cámaras frías	1 - 2.5	15 - 60

No.	Medida	Reducción en el consumo de energía	PSRI
		%	mes
10	Selección e instalación adecuada de los sistemas de instrumentación y control en los equipos del sistema de refrigeración	10 - 15	36 - 48
11	Subenfriamiento ambiental	1 - 9	--
12	Reemplazar condensadores de aire por evaporativos	3 - 9	--
13	Sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia para los ventiladores en los evaporadores y condensadores	3 - 15	--
14	Sustitución de compresores de pistón por rotativos (scroll)	6 - 16	--

V.1 Instalación de aislamiento térmico en tuberías, válvulas y bridas del sistema de refrigeración, en las secciones frías

Resumen

La instalación de aislamiento térmico, en tuberías frías del sistema de refrigeración, genera ahorros promedio de energía eléctrica de alrededor del 1 al 4%, del consumo total de dicho sistema. Las inversiones erogadas presentan retornos de inversión sumamente atractivos, menores a un año. Cabe hacer la aclaración de que este tipo de acciones deberían ser rutinarias y estar incluidas dentro de las actividades del mantenimiento de las instalaciones.

Marco de referencia

Llega a ser frecuente y hasta cierto punto normal, el encontrar que las tuberías y accesorios de los sistemas de refrigeración no cuentan con aislamiento térmico, o bien, por cuestiones de la operación cotidiana en los procesos, el aislamiento térmico se daña y no sea repuesto. En la Ilustración 3, se muestran algunos casos en los que distintas secciones de tuberías, así como accesorios que las integran, no cuentan con su correspondiente sistema de aislamiento. En estas tuberías es fácilmente identificable la necesidad de instalar aislamiento térmico para frío, ya que las tuberías y accesorios se cubren de escarcha o hielo.

Ilustración 3. Tuberías y accesorios del sistema de refrigeración, en la parte fría, sin aislamiento térmico.



Fuente: CySTE

La carencia de aislamiento térmico en las tuberías frías ocasiona, además de pérdidas de energía, el que se origine otro tipo de problemas, tanto operativos como de seguridad laboral. Algunos de ellos se anuncian a continuación:

- Como consecuencia de la formación de hielo en la superficie de la tubería y debido al calor del medio ambiente, parte del hielo se convierte en agua líquida cayendo al piso, lo que puede causar accidentes laborales, toda vez que esta agua lo hace resbaloso;
- El hielo en la superficie de las tuberías, incrementa la corrosión en las mismas;
- Al no estar aisladas las tuberías y accesorios, del lado frío, se provoca una mayor carga térmica, la cual, el sistema de refrigeración debe de abatir, operando un mayor tiempo para compensar esta carga térmica extra. Esto provoca que se incremente el consumo de energía eléctrica y, por ende, una mayor facturación, incrementando los costos operativos.

Buenas prácticas

El objetivo de instalar y mantener en buenas condiciones operativas el aislamiento térmico en las tuberías y accesorios, es el de retardar la ganancia de calor y controlar la condensación sobre ellas. La instalación del aislamiento térmico puede reducir el consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración entre un 1% y un 4%, así como disminuir el riesgo laboral, por lo que se recomienda llevar a cabo un programa de instalación de aislamiento en las tuberías frías que carecen de éste, así como en sus accesorios.

En la Ilustración 4 se muestra uno de los materiales aislantes que con mayor frecuencia es utilizado en los sistemas de refrigeración. Este es el aislamiento de elastómero que en la fotografía A, de dicha ilustración, se presenta en dos de sus formas comerciales, que son en forma de tubo y en rollo. En la fotografía B, se presenta cómo se puede aislar una tubería y sus válvulas utilizando elastómero en forma de lámina. Por último, en la fotografía C, se presenta una tubería de mayor diámetro con aislamiento de elastómero.

Ilustración 4. Aislamiento elastomérico en presentación de tubo y láminas y su forma de instalarlo en válvulas y tuberías



Fuente: <http://www.recubrimientostermicos.com.mx/>; www.armacell.com

Contexto técnico

Cabe señalar que esta práctica debe estar enmarcada en el programa de mantenimiento programático y de mejoramiento de instalaciones. Existe una variedad de aislamientos térmicos que se utilizan para las tuberías frías, los cuales se enlistan en la Tabla 3.

Tabla 3. Información general de algunos aislamientos térmicos para bajas temperaturas

Tipo	Información general	Rango de temperatura de uso (°C)
Elastómero	<p>Es un termoaislante celular producido a partir de la mezcla de resinas espumadas y hules sintéticos. Tiene la propiedad de ser elástico y aun siendo deformado, puede retomar su forma original. Disponible en medias cañas, tubería y en rollo.</p> <p>El elastómero generalmente es usado para tuberías, incluidos codos, tapas, válvulas, etc. Aplica en los condensadores o sistemas de refrigeración, tiene baja conductividad térmica además de atenuación acústica.</p> <p>Una característica peculiar de este aislamiento es que también disminuye eficientemente el flujo de calor, tanto en tuberías de agua caliente, como en tuberías de servicio con temperatura dual.</p>	Tiene un rango de temperatura desde -57°C hasta 105°C que favorece para aislar superficies y tuberías de alta y baja temperatura.
Foamglass	<p>Es uno de los mejores aislantes térmicos. Tiene presentaciones en media caña para tuberías y placas. Sus características son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilidad: Es totalmente hermético al agua. Gracias a sus células cerradas no absorbe la humedad. Por lo que su poder aislante se mantiene constante. • Resistente a productos químicos: Resiste a los disolventes orgánicos y a la mayoría de los ácidos. • Incombustible: compuesto inorgánico de vidrio, es totalmente incombustible. No arde, impide la propagación de fuego y la formación de humos. • Ecológico: El vidrio celular es un producto ecológico desde la producción hasta su reciclaje. 	<p>El rango de operación en temperaturas va desde los</p> <p>-268°C hasta +482°C.</p>
Poliuretano	<p>El poliuretano está formado por dos compuestos (Isocianatos y Polioliol) y está disponible en medias cañas, placas y espumado en sitio.</p> <p>Se utiliza para proteger térmicamente cámaras frigoríficas, como también para tanques, paredes y techos. Muy económico, fácil instalación, básico para cualquier construcción, industria y hogar, es una excelente solución en aislamiento térmico.</p>	El rango de operación es desde los -30°C a los 110°C.
Poliestireno expandido	<p>El poliestireno procedente del plástico, tiene excelentes propiedades térmicas actuando en bajas temperaturas, siendo así su baja conductividad y también acústica, ayudando a disminuir el ruido. Su composición micro-celular cerrada evita el paso del calor y/o frío además de la humedad.</p> <p>El poliestireno expandido se encuentra en presentación de placa y media caña siendo un buen aislante</p>	Tiene un rango de temperatura de -40° C hasta 80°C y, comúnmente, es aplicado en muros, losas y tuberías.

V.2 Nivel óptimo de carga de refrigerante

Resumen

Mantener y asegurar el nivel óptimo de la carga del refrigerante en los sistemas de refrigeración asegura ahorros de energía eléctrica, de alrededor del 1% al 2%, del consumo total del sistema. Las inversiones realizadas para esta medida de ahorro presentan una alta rentabilidad, logrando un período simple de recuperación de la inversión menor a seis meses. Esta práctica se debe enmarcar dentro de las actividades del mantenimiento rutinario.

Marco de referencia

Es importante mantener un nivel óptimo en la carga de refrigerante en los sistemas de refrigeración, ya que con esto se logra una adecuada operación en el sistema, aunque existen dos situaciones extremas que se pueden presentar, que son la falta de refrigerante y el exceso de éste.

Para el primer caso, cuando el refrigerante se encuentra en un nivel inferior al óptimo (falta de refrigerante), se observa que la temperatura de recalentamiento en la succión del compresor tiende a aumentar, por lo general es una señal de falta de refrigerante. Esta falta coincide generalmente con la congelación de la válvula de expansión, pues precisamente la expansión se realiza antes de llegar a ella, enfriando la zona fuera del límite operacional. Derivado de la falta de refrigerante, el rendimiento del sistema (COP) se reduce.

Por el contrario, en el segundo caso, cuando se reduce el recalentamiento en la succión del compresor, y en la válvula de expansión notamos también una temperatura superior a la nominal de operación, puede ser síntoma de exceso de refrigerante. Existe la creencia de que, con un poco más de refrigerante, la instalación rinde más, esto es totalmente erróneo. A causa del exceso de refrigerante hay un mayor consumo de energía eléctrica por parte del compresor.

A continuación se presentan los síntomas que se manifiestan cuando falta o hay exceso de refrigerante, así como los problemas que acarrearán estas situaciones:

Síntomas de falta de refrigerante

- Presión de evaporación baja;
- Presión de condensación baja⁵;
- Temperatura de aspiración alta;
- Recalentamiento alto;
- Sub enfriamiento bajo;
- Temperatura de la descarga del compresor alta;
- Consumo bajo de energía eléctrica en el compresor;
- Formación de hielo en la unidad interior;
- Formación de hielo en la tubería del líquido expansionado.

⁵ Este fenómeno se presenta debido a que el refrigerante se condensa rápidamente y se vacía el condensador.

Problemas asociados

- Falta de capacidad de enfriamiento;
- Recalentamiento del compresor;
- Falta retorno de aceite.

Síntomas de exceso de refrigerante

- Presión de evaporación alta;
- Presión de condensación alta⁶;
- Sub-enfriamiento alto⁷;
- Recalentamiento bajo;
- Compresor muy frío;
- Consumo alto de energía eléctrica en el compresor;
- Temperatura de descarga muy baja.

Problemas asociados

- Exceso de consumo de energía eléctrica en el sistema;
- Falta de rendimiento;
- Líquido en el compresor.

El sub-enfriamiento en el condensador determina con precisión la carga correcta de refrigerante en un sistema.

- Cero sub-enfriamiento en el condensador indica que al sistema le falta refrigerante y se formarán burbujas de vapor en la línea del líquido.
- Un sub-enfriamiento elevado en el condensador causa altas pérdidas económicas y costos de operación (elevación de la presión de descarga).

Buenas prácticas

Mantener un nivel de carga correcto del refrigerante en el sistema tiene como efecto:

- Reducir el tiempo de funcionamiento y por lo tanto el consumo de energía.
- Asegurar el correcto enfriamiento del motor del compresor mediante el gas de retorno, manteniendo la confiabilidad del sistema.
- Mejorar la conservación de los productos reduciendo el descarte o desperdicio.

Dentro de las acciones preventivas que se tienen que realizar para determinar el nivel óptimo del refrigerante en el sistema se encuentran:

1. Verificar semanalmente el nivel de refrigerante (visor y retorno de gas al compresor);

⁶ Debido a que el intercambio de calor se reduce.

⁷ Derivado a que gran parte del condensador está lleno de líquido que sigue enfriándose.

2. Existen dos métodos por los cuales se puede identificar el bajo o el alto nivel de refrigerante. Estos métodos se exponen a continuación:

A. Medidas para identificar el bajo o alto nivel del refrigerante por medio del sub-enfriamiento

- Se toma del manómetro de alta presión⁸ su valor, con dicho valor se busca en las tablas de propiedades termodinámicas del refrigerante, la temperatura de saturación que le corresponde.
- Con un termómetro, se mide la temperatura a la entrada del sistema de expansión (puede ser válvula de expansión, etc.).
- Se lleva a cabo la diferencia entre ambas temperaturas, el resultado es el sub enfriamiento, el cual normalmente está entre los 4°C y los 10°C.
- Un sub enfriamiento bajo y una temperatura de descarga alta indican una falta de refrigerante o condensación.
- Un sub enfriamiento muy alto y una temperatura de descarga baja indican un posible exceso de refrigerante o condensación.

B. Medidas para identificar el bajo o alto nivel del refrigerante por medio del recalentamiento

- Se toma del manómetro del lado de la baja presión su valor, con dicho valor se busca en las tablas de propiedades termodinámicas del refrigerante, su temperatura de saturación.
- Con un termómetro se mide la temperatura a la entrada del compresor.
- Se lleva a cabo la diferencia entre ambas temperaturas, el resultado es el recalentamiento, el cual, normalmente está entre los 4°C y los 8°C.
- Un recalentamiento alto y una temperatura de descarga alta indican una falta de refrigerante.
- Un recalentamiento bajo o nulo y una temperatura de descarga baja indican un posible exceso de refrigerante.

Además de lo anterior, es recomendable mantener en almacén algo de refrigerante (el empleado en sus equipos), un repuesto de filtro, aceite para rellenos o recambio, etc. Esto es considerado como lo mínimo que puede ser necesario en una urgencia para reponer el refrigerante faltante.

V.3 Disminuir las malas prácticas de mantenimiento y operativas, en las cámaras frías

Resumen

El reducir las malas prácticas operativas y de mantenimiento en las cámaras frías permite un mejor aprovechamiento del frío contenido en estas, además de optimizar la operación del sistema de enfriamiento. El asegurar que las cámaras refrigeradas se mantengan bajo especificaciones de diseño, además de evitar malas prácticas operativas que causan la pérdida del aire (ambiente) frío trae como beneficios el disminuir el

⁸ Manómetro de descarga del refrigerante en el compresor. En la Gráfica 1 está denominado como P_i .

consumo “adicional” de energía eléctrica que, en promedio, se ha visto que puede representar alrededor del 4% y el 8% de sobre consumo del sistema. El mantener en condiciones de diseño las cámaras, a través de un correcto mantenimiento, así como el capacitar al personal para asegurar prácticas operativas correctas en el uso de las cámaras frías, trae altos beneficios energéticos y las inversiones se recuperan en menos de un año.

Marco de referencia

Es común encontrar que en las cámaras de refrigeración se presenten problemas de filtración de calor o de fugas de frío, ya sea debido a la falta de mantenimiento y/o de malas prácticas operativas, entre las que se encuentran la falta de cortinas aislantes o deterioradas, puertas mal selladas, flujos de aire mal canalizados, puertas abiertas, infiltraciones por sellos en mal estado, aislamientos térmicos deteriorados en las paredes y techos de la cámara.

La falta de mantenimiento adecuado, aunado a malas prácticas operativas tienen el efecto negativo de incrementar la carga térmica de los recintos refrigerados, lo que tiene como efecto negativo un mayor tiempo de operación del sistema de refrigeración y un mayor consumo de energía eléctrica.

En la Ilustración 5, se presenta parte de los desajustes que tienen las puertas, donde se identifica que, por la falta de ajuste en el cierre hermético y debido a sellos deteriorados, se tiene fuga de aire frío o entrada de aire caliente.

Ilustración 5. Desajuste del sistema de cierre hermético en las puertas de las cámaras refrigeradas debido a falta de mantenimiento



Fuente: CySTE

Otra situación que se llega a presentar es un diseño inadecuado de las cámaras refrigeradas, en las que éstas tienen comunicación directa al exterior, las que al abrirse causan que gran parte o incluso el total del aire frío contenido en las cámaras se pierda al ambiente, ingresando en su lugar aire caliente y húmedo del exterior. Esto trae, como efecto negativo, un mayor tiempo de operación de los compresores para llegar a la temperatura de almacenamiento establecida. Además, la humedad que entra se congela en los evaporadores y en los productos, teniendo el efecto negativo de que el hielo llega a actuar como un aislante térmico, impidiendo que el interior del producto se congele, lo que causa pérdidas de producto y mala calidad de congelamiento.

Los problemas de operación, como los de mantenimiento, detectados se resumen la siguiente tabla:

Tabla 4. Problemas identificados que causan fuga de aire frío de las cámaras refrigeradas y mayor número de horas de operación de los compresores (mayor consumo de energía)

Problemas de operación	Problemas de mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Puertas de acceso de antecámaras y cámaras semi-abiertas o totalmente abiertas, debido a la falta de procedimientos adecuados para el personal. • Condensación de agua en la puerta de la cámara fría, que provoca que no exista cierre hermético. • Golpes en las puertas provocados por una mala operación en la conducción de producto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hules de puertas en mal estado o inexistente. • Desajuste del cierre en las puertas de acceso a las cámaras. • Rieles y/o rodamientos en mal estado y/o inexistentes. • Soportes incompletos en las puertas.

Buenas prácticas

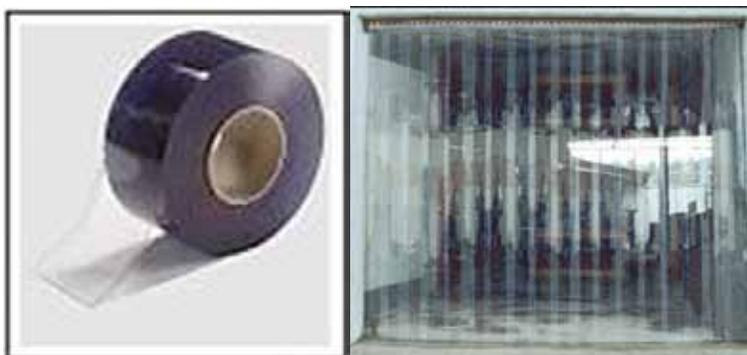
Dentro de las buenas prácticas que se pueden llevar a cabo en las cámaras son las siguientes:

- Mantener las puertas cerradas aun cuando su uso sea intensivo (por ejemplo: colocar cierre automático que pueda abrir desde afuera y adentro);
- Establecer procedimientos de trabajo óptimo en las cámaras, para evitar aperturas innecesarias y en consecuencia pérdida de frío; para esto se recomienda establecer horarios de apertura de las cámaras, instalación de antesalas, asegurar que las cámaras frías no se abran directamente al exterior, instalar cortinas de aire como barrera térmica y contra la humedad, etc.
- Instalación de barreras en las puertas de acceso, ya sea mediante cortinas plásticas o de aire;
- Revisión periódica al sistema de rodamientos y de cierre hermético de las puertas, así como a los sellos de hule.

Contexto técnico

En la siguiente ilustración se muestra el material en rollo con el que se hace la cortina plástica, que por lo general es instalado por el mismo personal de planta. Es de fácil colocación, así como de bajos costos de mantenimiento.

Ilustración 6. Un tipo de barrera térmica para cuartos fríos; Cortinas plásticas de PVC



Fuente: CySTE

V.4 Cambio de refrigerante tradicional por ecológico

Resumen

El sustituir refrigerante tradicional por el tipo ecológico además de ser un compromiso de responsabilidad empresarial ambiental, representa un ahorro de energía de, aproximadamente, entre un 10% y un 15% del consumo de energía del sistema de refrigeración, con un atractivo periodo simple de recuperación de la inversión, de medio año. Se debe asegurar que el refrigerante, con el que se reemplazará al que está actualmente en uso, sea el correcto, así como el procedimiento a realizar, cuidando sobre todo que el refrigerante que se retira sea adecuadamente procesado en centros autorizados.

Marco de referencia

Los sistemas de refrigeración por compresión mecánica, por lo regular, utilizaban refrigerantes tradicionales o también conocidos como de la familia de los freones⁹. Entre los más utilizados se encuentran el R-11, R-12, R-22 y R502.

Debido al uso de estos refrigerantes, se están produciendo daños muy severos en la capa de ozono, al grado que en 1987 entró en efecto el Protocolo de Montreal, en el que se acordó eliminar gradualmente estos refrigerantes, así como otras sustancias dañinas a la capa de ozono¹⁰. En éste sentido, estos refrigerantes están siendo sustituidos por refrigerantes ecológicos¹¹.

Buenas prácticas

Como se comentó, actualmente se continúa sustituyendo los refrigerantes tradicionales por ecológicos. Una gran ventaja de los refrigerantes ecológicos es que reducen el consumo de energía, esto debido a sus características físico químicas que reducen la fricción en las partes mecánicas del compresor, minimizando las pérdidas y mejorando el rendimiento del efecto refrigerante.

Pruebas realizadas en diferentes equipos han demostrado ahorros de energía del 10% al 15 %. Los refrigerantes HC están fabricados a base de compuestos naturales, no dañan la capa de ozono, el refrigerante HC-22 está diseñado para sustituir al refrigerante R-22.

Los refrigerantes ecológicos son utilizados, por norma, en más de 14 países. El cambio de refrigerante requiere de personal calificado para su carga. Otro de los beneficios es que se utiliza menos refrigerante para la carga.

Es importante señalar que el potencial de ahorro energético, por el cambio de refrigerante, radica en la disminución del amperaje y potencia del compresor. Por esta razón, se reportan la demanda y el consumo de

⁹ Existen otros refrigerantes clorofluorados (HFC), tal como el R-13B1

¹⁰ La medida de la capacidad que posee una sustancia para destruir el ozono estratosférico se basa en su duración en la atmósfera, estabilidad, reactividad y contenido de elementos que pueden atacar al ozono, por ejemplo cloro y bromo. A esta medida se le conoce como Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO). Donde todos los PAO se basan en una medida de referencia, que es 1 para los CFC-11.

¹¹ También conocidos como refrigerantes a base de hidrocarburos.

energía correspondiente que, para el caso de los equipos analizados, la demanda eléctrica y el consumo de energía, representan una disminución del 10% comparado con la situación actual (ver casos de estudio DUPONT)¹².

Algunas características de los refrigerantes ecológicos son:

- 100% compatibles con sistemas actuales;
- Cero PAO, (o bien conocido como ODP, siglas en inglés de Ozono Depletion Potencial);
- No son tóxicos al ser humano;
- Curvas de Presiones-Temperaturas prácticamente iguales a los gases que sustituyen: CFCs, HFCs, y HCFCs.
- Densidad < 50%, por lo que demandan un menor esfuerzo en el compresor, lo que resulta en un menor consumo de energía de los equipos hasta en un 15%;
- Ventaja adicional, se libera capacidad eléctrica instalada;
- Su peso molecular es más ligero que el de los gases refrigerantes;
- Trabajan a presiones más bajas;

Desventajas

- Inflamable, por lo que se recomienda verificar las características del gas a sustituir, sobre todo en la presión de trabajo del lado del compresor;
- Debe ser suministrado por personal altamente calificado, para una correcta recuperación de los refrigerantes clorofluorados;
- Producto de reciente aparición en el mercado centroamericano, es necesario conocer al representante local.

Contexto técnico

A continuación se presentan dos tablas, donde se muestra la sustitución que se puede hacer de los refrigerantes R-12 y R-22, por refrigerantes ecológicos, dependiendo de su aplicación.

¹² www.refrigerants.dupont.com/Suva/en_US/apps/case_history/byproduct.html#mo29

Tabla 5. Refrigerantes ecológicos que sustituyen al R-12

Refrigerante tradicional	Refrigerantes ecológicos				
R-12 HC	ISCEON MO49 Dupont	SUVA 134a Dupont	SUVA MP39 Dupont	SUVA MP66 Dupont	SUVA 409A Dupont
HC	HC	HC	HC	HC	HC
Retrofit	Retrofit	Retrofit	Retrofit	Solo equipos nuevos diseñados para R-410A	Equipo nuevo
Equipos Nuevos	Equipos Nuevos				
Alta, Media	Alta, Media	Alta, Media (Arriba de +20°F / -7°C)	Media, Baja (Arriba de -15°F / -26°C)	Media, Baja (Arriba de +20°F / -7°C)	Media, Baja (Arriba de -15°F / -26°C)
Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones
Aire Acondicionado: Automotriz (A/A)	Aire Acondicionado: Automotriz (A/A)	Refrigeración: Comercial, Doméstica, Aparatos, Enfriadores	Refrigeración: Comercial, Doméstica (Temperatura media), Cuartos fríos	Refrigeración: Congeladores, Transporte, Refrigerado	Refrigeración: Comercial, Doméstica (Temperatura Media), Cuartos Fríos

Tabla 6. Refrigerantes ecológicos que sustituyen al R-22

Refrigerante tradicional	Refrigerantes ecológicos				
R-22 HC	ISCEON MO79 Dupont	ISCEON M059 Dupont	ISCEON M029 Dupont	SUVA 410A Dupont	SUVA 407A DuPont
HC	HC	HC	HC	HC	HC
Retrofit	Retrofit	Retrofit	Retrofit	Solo equipos nuevos diseñados para R-410A	Equipo nuevo
Equipos Nuevos	Equipos Nuevos				
Alta, Media	Media, Baja	Alta, Media	Alta, Media	Alta	Alta, Media
Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones
Aire Acondicionado: Residencial, Comercial	Refrigeración: Comercial, Industrial	Aire Acondicionado: Residencial, Comercial	Aire Acondicionado: Enfriadores de agua, Residencial, Comercial	Aire Acondicionado: Residencial, Bombas de calor, Comercial	Aire Acondicionado: Residencial, Comercial
Refrigeración: Comercial		Refrigeración: Comercial	Refrigeración: Comercial		Refrigeración: Comercial

V.5 Monitoreo de variables de importancia e incluso, en sistemas importantes y prioritarios, la automatización de los sistemas de monitoreo y control para una adecuada operación del sistema de refrigeración

Resumen

El mantener una óptima operación de los instrumentos de medición, así como monitorear, registrar y analizar las variables que se miden en los sistemas de refrigeración permite ahorros importantes de energía. Para algunos sistemas de refrigeración importantes incluso se justifica la implementación de sistemas de monitoreo remoto, e incluso de control automático. Estas acciones representan ahorros promedio de energía eléctrica de alrededor del 10% al 15%, con respecto al consumo total del sistema de refrigeración. Se ha observado que para las inversiones que se requieren para medir las variables de importancia en sistemas de refrigeración, el periodo simple de recuperación de la inversión es de 3 a 4 años.

Marco de referencia

Una de las mejores maneras de obtener un ahorro de energía y mantener el rendimiento del sistema de refrigeración, es a través de la medición, monitoreo, análisis y la automatización del sistema de refrigeración. Sin embargo, es común que los equipos de medición se encuentren descalibrados o bien, no sean suficientes para monitorear/controlar la operación de los equipos que integran el sistema de refrigeración.

Buenas prácticas

Una aplicación adecuada del sistema de automatización y control permite reducir la demanda de energía eléctrica en el sistema de refrigeración, toda vez que al controlar de una manera eficiente las necesidades de frío en las áreas requeridas, se logra optimizar el tiempo de operación de los equipos que integran el sistema de refrigeración, evitando con ello consumos innecesarios de energía eléctrica. Para sistemas pequeños, o en una primera etapa se debe iniciar con una automatización manual, a partir de analizar las variables registradas con los equipos de medición, tanto fijos, como portátiles, no invasivos que se utilizan para monitorear el comportamiento de los equipos que integran el sistema de refrigeración

Un control adecuado del sistema de refrigeración parte del entendimiento y buena aplicación del mismo, trabajándolo en las condiciones para las que fue diseñado,

A. Puntos mínimos a monitorear y controlar

Los puntos mínimos a monitorear para una correcta operación del sistema de refrigeración son:

- Monitorear y controlar la velocidad del ventilador del condensador y evaporador;
- Monitorear y controlar la presión de condensación para optimizar el funcionamiento del compresor;
- Monitorear y controlar la presión y la temperatura de evaporación;
- Monitorear y controlar las temperaturas diferenciales;
- Monitorear y controlar la temperatura y la humedad de la cámara de refrigeración.

B. Monitoreo y control basado en condiciones de requerimientos de refrigeración

Un monitoreo y control basado en las condiciones que se requieren de refrigeración, es una de las mejores maneras de eliminar el desperdicio de energía, ya que se evita que los equipos que integran el sistema operen un mayor tiempo del necesario. En muchas ocasiones, el sistema opera con temperaturas muy por debajo de las que el producto necesita, esto debido a que los operarios desconocen los requerimientos de refrigeración de un X producto.

Por ello, es importante determinar los requerimientos de refrigeración de los productos que se esté manejando, así como las condiciones en las que ingresan a las cámaras (temperatura de ingreso, humedad, volumen, densidad, etc.).

Una vez determinados los requerimientos de refrigeración, se podrá controlar los parámetros de operación de los equipos que integran el sistema, por lo que se podrá programar el sistema de tal manera que los set point de temperatura¹³ y demás parámetros se ajusten a las necesidades.

C. Monitoreo y detección de fallas en los equipos

Esto puede implicar la instalación de sensores adicionales que permitan la detección remota de las condiciones de trabajo¹⁴ incorrectas de aquellos equipos que sean los mayores consumidores de energía en la instalación frigorífica. Dichas fallas pueden ser provocadas por roturas de bandas, fallas de los rodamientos, fallas del sistema de control u operación manual del sistema, sobrecalentamientos, subenfriamientos, sobrepresiones, sobretensión, sobre corrientes, etc.

Los sensores deberán estar enclavados preparados para detectar condiciones no deseadas y poder así emitir una advertencia temprana desde el momento mismo de su instalación.

D. Instalación de variadores de frecuencia

El instalar variadores de frecuencia (o también conocidos como variadores de velocidad), a partir del hecho de que las temperaturas durante el día no son iguales y existen variaciones importantes entre el día y la noche, o en los diferentes meses del año, esto da pauta para considerar la implementación de variadores de frecuencia para controlar la operación de los ventiladores del sistema de enfriamiento, o bien en el sistema de compresión de refrigerante.

Contexto técnico

La decisión de cuanto invertir, en un sistema automático de monitoreo y control, es una decisión de la planta, la que debe ser estudiada tomando en cuenta la aplicación del equipo. Sin embargo, los beneficios son tanto económicos, como de seguridad en la operación del sistema de refrigeración.

.....
 13 La temperatura en las cámaras puede ser ajustada usando el termostato que poseen. Las temperaturas de trabajo pueden subirse o bajarse en algunos grados. Es importante recalcar que las cámaras diseñadas para trabajar sobre cero grados, no deben emplearse bajo cero grados.

14 Para establecer las condiciones de trabajo, es conveniente revisar los manuales de operación, ya que estos indican, ya sea con gráficas o tablas, los parámetros de operación óptima de los equipos.

Entre los equipos que se recomienda instalar para una correcta operación del sistema de refrigeración, se encuentran: separador de aceite, acumulador de refrigerante del lado de succión del compresor, regulador de presión diferencial de aceite, calefactor de cárter, regulador de alta presión, válvula check, solenoide de retorno de aceite al cárter, sensor de temperatura del lado de descarga del compresor, así como en las bobinas de los motores eléctricos, relés térmicos (sistema de protección contra alta temperatura) para cada equipo, fusibles (sistema de protección contra alta corriente), válvula reguladora de presión de succión, filtro de refrigerante lado de líquido, etc. Lo anterior debe de ser instalado por un especialista.

V.6 Mantenimiento, correcta operación y reducción de la carga térmica de la unidad condensadora para un mejor desempeño

Resumen

El mantener en una óptima operación la unidad condensadora es fundamental para un mejor desempeño tanto de la misma como del sistema de refrigeración. El dar oportunamente el mantenimiento y mantener una correcta operación, significa generar, entre ambas acciones, ahorros promedio de energía eléctrica, de alrededor del 2% al 6%, con respecto al consumo total de energía eléctrica del sistema de refrigeración. Se ha observado que para las inversiones que se requieren para llevar a cabo ambas acciones, el periodo simple de recuperación de la inversión es menor a un año.

Marco de referencia

Por lo general, después de que los equipos de refrigeración han sido instalados, únicamente se les da mantenimiento cuando presentan fallas, que ya no les permiten funcionar, por lo que tienen que parar el sistema de refrigeración para hacer el mantenimiento correctivo, perdiendo con esto tiempo productivo para la planta. Este descuido se debe a que no hay una cultura de mantenimiento preventivo y mucho menos predictivo. Otro fenómeno que sucede es que, como la operación de los equipos se vuelve tan cotidiana, algunas recomendaciones de los fabricantes, con respecto a buenas prácticas operativas, pasan a tercer plano dentro de las labores diarias de las empresas, quedando en el olvido. Esto se debe a que muchos de los manuales de operación y mantenimiento de los equipos se pierden durante el transcurso del tiempo.

Entre los problemas más comunes que presentan las unidades condensadoras, se tiene:

1. Mala ubicación de la unidad condensadora, lo que impide que desaloje de manera correcta el calor residual, o bien que haya sido instalada en zonas con radiación directa del sol, lo que causa una carga térmica extra al sistema;
2. Falta de limpieza en los radiadores, lo que disminuye su capacidad de enfriamiento;
3. Daños en las aletas de los radiadores, lo que disminuye su capacidad de enfriamiento;

Ilustración 7. Unidades condensadoras en mal estado (daños en aletas, radiadores sucios, expuestos al sol)



Fuente: CySTE

Buenas prácticas

Una de las mejores maneras de obtener un ahorro de energía y mantener un buen rendimiento tanto de la unidad condensadora como del sistema de refrigeración, es a través de un programa de mantenimiento preventivo y de buenas prácticas operativas. Dentro de las buenas prácticas que se pueden llevar a cabo en la unidad condensadora, se tiene:

A. Ubicación

Es relevante la ubicación de las unidades condensadoras, ya que por lo regular éstas se encuentran a la intemperie, teniendo como carga térmica extra la energía solar. En este sentido, se recomienda que las unidades condensadoras estén provistas de un techo, que las cubra de la radiación solar directa, para reducir con esto la carga térmica. Además, las unidades condensadoras no deben, por ninguna razón, ubicarse cerca a fuentes de calor, como sucede cuando se las instala a un costado del cuarto de calderas.

B. Limpieza y daños a las aletas

Es muy importante revisar que la unidad condensadora no se encuentre bloqueada por basuras, grasa, pelusas o cualquier elemento que no permita una buena circulación de aire. Cada cierto tiempo debe limpiarse las aletas del condensador para permitir el libre flujo de aire. La frecuencia con la que se debe realizar esto es muy variable, dependiendo del lugar de instalación.

C. Variadores de frecuencia

Utilizar variadores de velocidad en los ventiladores de los condensadores, para controlar su operación en función de la temperatura ambiente y de la temperatura del refrigerante.

D. Condensadores evaporativos

Los condensadores evaporativos utilizan un filtro húmedo para enfriar el aire exterior, aumentando su capacidad para desprender calor. Los ahorros varían entre un 3% y un 6%, con respecto a su propio consumo de energía eléctrica. Se busca este enfriamiento para que el compresor opere a presiones de descarga más bajas. Cabe señalar que esto varía del lugar geográfico de ubicación del sistema.

E. Otras medidas

Se estima que es posible ahorrar entre un 2% y un 3% de energía eléctrica por cada grado que sea posible disminuir en la temperatura de condensación.

V.7 Mantenimiento y correcta operación de la unidad evaporadora para un mejor desempeño

Resumen

Mantener en óptimo funcionamiento la unidad evaporadora implica que tanto las condiciones físicas como la forma de operación deben ser las adecuadas (filtros limpios, aislamiento de tubería fría en buena condición, correcto drenaje del condensado, mínima humedad en el ambiente, que no existan obstáculos frente a la unidad evaporadora, etc.). Esta acción representa ahorros promedio de energía eléctrica entre el 2% y el 6%, con respecto al consumo total del sistema de refrigeración. Se ha observado que para las inversiones que se requieren, el periodo simple de recuperación de la inversión es menor a un año, ya que algunas son de operación, mientras que otras que son de mantenimiento deben de estar contempladas dentro del presupuesto.

Marco de referencia

A pesar de que las unidades evaporadoras son los equipos más visibles del sistema de refrigeración, éstos por lo general se encuentran descuidados, presentando problemas de formación de hielo en su superficie¹⁵, obstrucción del flujo de aire debido a materia prima mal acomodada, una posición inadecuada dentro de la cámara de refrigeración, entre otros problemas. En la Ilustración 8 se presenta una unidad evaporadora con serios problemas de formación de hielo, parte de esto es debido a que un ventilador no opera, mientras que el otro funciona parcialmente.

Ilustración 8. Evaporador con problemas de mantenimiento



Fuente: CySTE

¹⁵ Esta situación provoca corrosión en el cuerpo del evaporador, por lo que reduce sensiblemente su vida útil.

Buenas prácticas

El rendimiento de las unidades evaporadoras depende de:

- La diferencia de temperatura entre el intercambiador de calor por donde pasa el refrigerante y el caudal del aire que lo atraviesa.
- El factor de by-pass¹⁶, o del tanto por ciento de aire que toca a la batería¹⁷;
- Que la superficie del intercambiador de calor se encuentre libre de suciedades o de hielo;
- Que no existan frente al evaporador obstáculos, para que circule libremente el aire;
- Que el interior del intercambiador de calor no contenga trazas de aceite, ya que disminuye la tasa de transferencia de calor.

La reducción del volumen específico del refrigerante, asociado al aumento de la temperatura de evaporación, afecta la capacidad frigorífica del compresor y las pérdidas en la línea de succión. Es posible estimar que por cada 1°C de aumento en la temperatura de evaporación, podría obtenerse un aumento de un 4% a un 6% en la capacidad frigorífica del compresor. Algunas maneras de reducir la temperatura de evaporación son:

A. Correcta ubicación de la unidad evaporadora y óptima distribución del aire al interior de la cámara

Uno de los problemas constantes en las cámaras de refrigeración es que debido a que la demanda de almacenaje es alta en la empresa, obliga a que se ingrese más producto del que la cámara de refrigeración podía albergar, de acuerdo a su diseño inicial. Esta situación hace que el flujo de aire frío no sea el apropiado, ya que las fallas más comunes de almacenaje son:

- Obstaculizar con productos los ventiladores del evaporador;
- Colocar productos debajo de los evaporadores;
- Almacenar productos sin dejar un espacio adecuado para que el aire frío proveniente de las evaporadoras circule libremente y enfrié correctamente los productos.

Lo antes descrito se puede apreciar en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Malas prácticas de almacenamiento de producto en la cámara de refrigeración



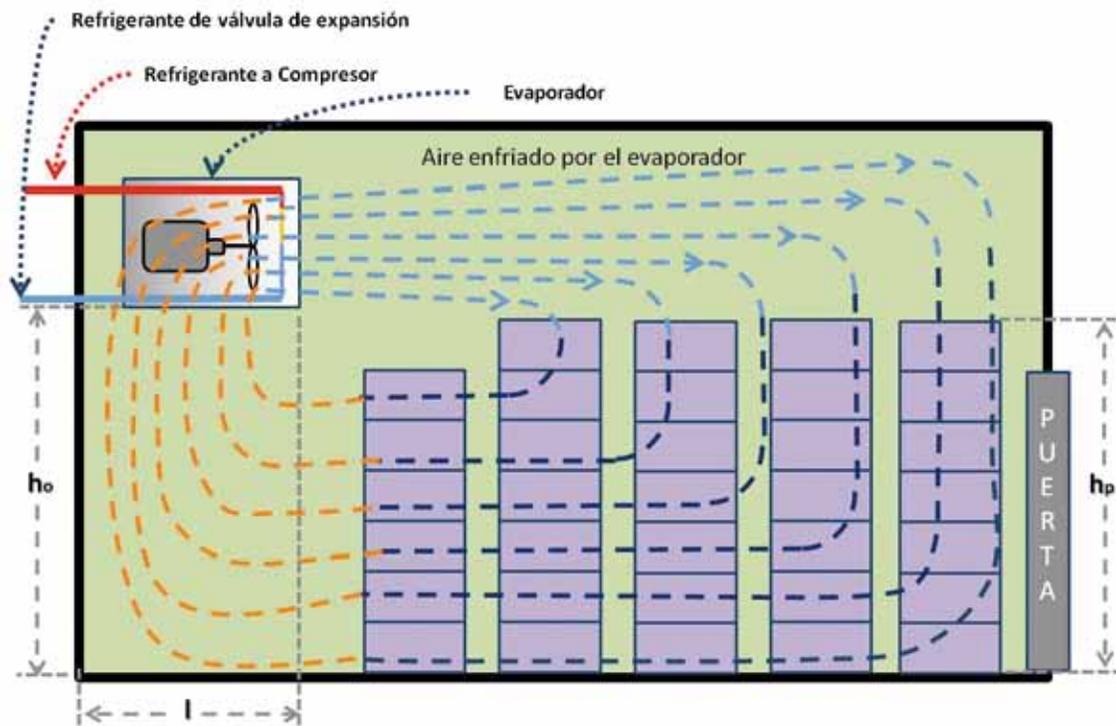
Fuente: CySTE

¹⁶ el aire que, al atravesar una batería de intercambio con tubos y aletas del intercambiador de calor, toca las partes metálicas, se enfría por contacto o transmisión. Sin embargo, una parte del aire pasa limpiamente por los huecos sin tocar nada, y por lo tanto no se enfría. Es como si este aire realizase un by-pass a dicha batería. A la salida, el aire se mezcla y su temperatura se iguala. Se llama factor de by-pass al porcentaje de aire que pasa sin tocarla, y que suele estar entre el 10 y el 30%.

¹⁷ Se entiende por batería al conjunto de tubos y aletas que conforman el intercambiador de calor, por cuyo interior pasa el refrigerante y por su exterior el aire.

Entre las recomendaciones para la ubicación del evaporador dentro de las cámaras de refrigeración, se encuentra aquella que indica que éste debe estar por encima de los productos que se encuentran almacenados al interior de las cámaras, para que el aire enfriado no tenga obstáculo alguno que impida su libre circulación. Esta situación se muestra en la Ilustración 10, donde “ h_o ”, que es la altura del condensador y “ h_p ” es la altura del producto. Claramente se aprecia que gracias a esta diferencia hay una circulación libre del aire.

Ilustración 10. Correcta ubicación de la unidad evaporadora y óptima distribución del aire en una cámara frigorífica



Fuente: CySTE

En la misma ilustración (11), se presenta la forma correcta de cómo debe circular el aire al interior de la cámara, donde no existe producto almacenado debajo del condensador, ya que ésta es un área donde la temperatura es ligeramente mayor que la del resto de la cámara. También se puede observar que debe existir un espacio libre entre las columnas estibadas de los productos, para que también se permita la libre circulación del aire.

B. Limpieza

Otro problema que se llega a presentar, es la falta de limpieza en las aletas y tuberías del evaporador. Esto provoca que la eficiencia en la transferencia de calor decaiga. (Ilustración 11).

Ilustración 11. Suciedad en los tubos y aletas de la unidad evaporadora



Fuente: CySTE

C. Descarche (deshielo)

Actualmente existen sistemas eficientes antiescarcha, los cuales mejoran el ciclo de descarche identificando la caída de temperatura o presión del evaporador o midiendo la acumulación de escarcha y detectando la humedad. Estos sistemas son más eficientes que los que inician el descarche siguiendo ciclos programados. En la Ilustración 12 se muestran dos evaporadores con formación de hielo, que provoca que el hielo funcione como aislamiento térmico, por lo que la eficiencia en la transferencia de calor se reduce considerablemente, provocando que el sistema opere un mayor tiempo.

Ilustración 12. Formación de hielo en evaporadores



Fuente: CySTE

Los ahorros varían entre el 1% y el 6%. En este sentido, se recomienda revisar la programación del timer que manda la señal de descarche en aquellos sistemas que tengan este sistema de control.

D. Otras recomendaciones

- Evitar la acumulación de aceite de los compresores en los evaporadores. Para esto, es necesario dimensionar correctamente las líneas de succión y utilizar separadores de aceite eficientes.
- Limpiar o cambiar periódicamente los filtros del refrigerante, con el fin de evitar minimizar las pérdidas de presión a través de ellos.

V.8 Recomendaciones varias

A continuación se presenta una lista de recomendaciones de eficiencia energética que han demostrado resultados importantes en cuanto a la mejora energética de los sistemas de refrigeración.

A. Mantenimiento y correcta operación del compresor para un mejor desempeño

A continuación se enlistan una serie de recomendaciones:

- Debe verificarse que la temperatura de descarga del compresor (temperatura de cabezales) no sea excesiva, ya que con razones de compresión excesivamente altas, la temperatura de descarga puede llegar a ser tan alta que carbonice el aceite lubricante y produzca una falla de lubricación. Un cambio de color en la pintura de los cabezales o en la sección de descarga es normalmente síntoma de excesiva temperatura en el lugar.
- Utilizar enfriadores con una capacidad adicional del 20%, para que el compresor opere más eficientemente, por lo que demandará menos potencia eléctrica.
- En caso que se disponga de una sola cámara frigorífica, una medida de eficiencia energética podría ser el instalar varios compresores en paralelo, de tal forma que se pueda desconectar alguno cuando la demanda disminuya.
- Los compresores de alta eficiencia (tipo scroll) poseen un mejor diseño, permitiendo ahorros entre el 6% y el 16% de la energía que consume el compresor.
- Se recomienda la instalación de modificadores de presión con un variador de frecuencia, ya que éstos varían la presión del compresor de acuerdo con las condiciones ambientales exteriores. Los ahorros estimados se encuentran entre un 3% y un 10% del consumo de energía eléctrica del compresor.
- Otra recomendación es instalar amplificadores de presión de la línea líquida. Estos equipos mejoran la eficiencia del sistema, aumentando la presión de la línea líquida. Pueden ahorrar hasta un 20% de la energía eléctrica que consume el compresor.

B. Operación correcta de la válvula de expansión

Una de las formas para asegurar que el sistema de expansión tenga un óptimo funcionamiento y mejore a su vez su eficiencia, es que el refrigerante llegue como líquido sub-enfriado a la válvula de expansión, ya que mientras más frío llegue el refrigerante a la válvula de expansión, ésta mejorará su capacidad. Por otro lado, en el caso que el refrigerante llegue caliente a la válvula de expansión, la capacidad de la misma disminuirá considerablemente, (para mayor referencia vea la sección del Ciclo de refrigeración del presente documento).

C. Otras recomendaciones para la cámara frigorífica

A continuación se enlista una serie de recomendaciones:

- Dimensionar la instalación de acuerdo con las necesidades de refrigeración. Para ello es indispensable hacer un balance de cargas térmicas en las cámaras frías, para seleccionar el equipo más eficiente.
- Dentro de las cámaras de refrigeración es importante disponer de iluminación eficiente y que genere menos calor, así como de sensores de presencia que regulen el encendido y apagado de la iluminación; el reemplazo de la iluminación incandescente, por una iluminación eficiente, como lámparas fluorescentes T-5 o tecnología led, puede reducir el consumo eléctrico y la carga de refrigeración, por lo que el compresor trabajará menos tiempo, así como los demás equipos de refrigeración.
- Es mejor comprar varios equipos de refrigeración de menor tamaño que uno grande. Así, se ajusta mejor a la demanda de frío variable.

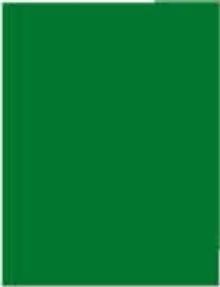
D. Otras recomendaciones

Aunque éstas no han sido documentadas a plenitud para evaluar los beneficios energéticos promedio resultantes de su aplicación, o bien no se ha acotado la rentabilidad que presentan, sin embargo se sabe y se cuenta con referencias que las clasifican como recomendaciones confiables en eficiencia energética en sistemas de refrigeración, razón por la cual se presentan a continuación.

- Capacitar al personal para que opere el sistema de refrigeración de acuerdo a los requerimientos y necesidades del producto a refrigerar, o del proceso que requiera la refrigeración.
- Además, entrenar al personal para que tenga las competencias y conocimientos necesarios para implementar un programa de mantenimiento predictivo y preventivo. Con ambas acciones se espera que se preserve el servicio de refrigeración óptimo y eficiente. Es importante que las empresas mantengan comunicación con los proveedores de los equipos, para que estos, continuamente, les apoyen técnicamente.
- Instalar ventiladores de alta eficiencia para el evaporador y el condensador. Necesitan menos energía para operar y generan menos calor, por lo que reducen la carga en la refrigeración. El ahorro potencial se estima entre un 3% y un 5%.

VI Bibliografía

- MORAN, Michel J., “Fundamentos de Termodinámica Técnica”, Editorial Reverte, España, 2005.
- HERNÁNDEZ, Eduardo, “Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración”, Editorial Limusa, México, 1997.
- LLORENS, Martín “Ingeniería Térmica”, Editorial CEAC, España, 1999.
- ASHRAE “Handbook Refrigeration Systems and Applications”, ASRHAE, Atlanta, 2000.
- LÓPEZ, Maldonado Agustín, “Refrigeración, su enseñanza y aplicaciones” Editorial Grupo Exodo, México, 2009.
- WARREN, Marsh, “Principios de la Refrigeración”, Editorial Diana, México, 1997.
- WHITMAN, William C. “Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado Vol. I y II”, Editorial Parinfo, España, 2000.
- Air Conditioning and Refrigeration Institute “Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado Tomo I y II”, Editorial Pearson, México, 1999.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, “Más de 100 Consejos para ahorrar energía en las PyMES”, México, 2005.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, “Beneficios del aislamiento térmico en la industria”, México, 2009.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Buenas prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado”, México, 2008.
- THUMANN, Albert / MEHTA, D. Paul, “HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING” Second Edition, The Fairmont Press Inc., U.S.A., 1991.
- RUFES, Pedro “Difusión del aire en locales”, Editorial CEAC, España, 1999.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Diseño y Cálculo del Aislamiento Térmico de Conducciones, Aparatos y Equipos”, España, 2007.
- SENER, Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, “Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales”, México, 1995.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA