

¿Por qué la industria debe interesarse en el cambio climático y de la destrucción de la capa de ozono?

Preparado por Jorge Leiva Valenzuela, Gerente de Proyectos, GreenLane Consultores Ltda. jleiva@greenlaneconsultores.com. Trabajo presentado en las “Jornadas Tecnológicas” realizadas por la Cámara y DITAR Chile en Octubre 2007

Desde hace algunos años, el tema del calentamiento global ha ido cobrando importancia en la agenda de Gobiernos, Industria y Organizaciones Civiles. En nuestro país, la visita del ex vicepresidente de USA, Al Gore, ayudó a relevar aún más el tema en Chile.

¿Cuál es la conexión entre el cambio climático, destrucción del ozono y las actividades productivas? En este aspecto, la industria tiene una importante contribución que hacer, ya que la generación de energía para producir distintos bienes y servicios, está afectando el clima global. También, el uso de tecnologías comúnmente utilizadas en refrigeración y climatización, están fundamentadas en el uso de sustancias que dañan la capa de ozono y el clima (CFC, HCFC).

¿Cuál será el futuro de estas tecnologías? ¿Cómo la industria podrá enfrentar el doble desafío de producir con eficiencia, bajando el consumo de energía para elaborar sus productos y, a la vez, utilizar compuestos que no contribuyan al calentamiento global? Esta es la temática que vamos a tratar de analizar en esta presentación.

El primer aspecto a resaltar es que nuestro país ha incrementado fuertemente las importaciones de sustitutos de los CFC (los CFC son sustancias agotadoras del ozono). En este caso específico, las principales importaciones corresponden a HCFC-22, HCFC-141b y HFC-134a y una serie de mezclas de HCFC/HFC. La Tabla 1 muestra la estructura de las importaciones, de acuerdo a una investigación realizada por el autor.

El mercado de los CFC es un mercado en declinación, ya que estas sustancias tienen que ser eliminadas el año 2010, pasando por una disminución del 85% el año 2007. De todas formas, el producto de comercialización más importante es el CFC-12, el cual es utilizado ampliamente en refrigeración doméstica y comercial y en menor medida, como propelente de algunos aerosoles.

El mercado de los HCFC es un mercado emergente, cuyos volúmenes de importación son alrededor de aproximadamente 1.000 toneladas/año, con un valor CIF promedio del período cercano a los US\$ 1.98 millones/año (1) . Dentro de los productos comercializados, los más importantes son el HCFC-141b (25%) y el HCFC-22 (74.4%), considerando como base las toneladas importadas. El HCFC-141b se utiliza principalmente en la fabricación de espumas de aislación de poliuretano, mientras que

el HCFC-22 se utiliza como fluido refrigerante en instalaciones de refrigeración comercial e industrial (ver tabla 1).

Con respecto al mercado de los HFC, éste tiene un volumen promedio de importaciones de aproximadamente 172 ton/año, equivalente a un CIF de US\$ 1.14 millones/año. Dentro de este universo, los compuestos más importantes son el HFC-134a (94%) y el HFC-227 (6%), considerando como base las toneladas importadas. El HCFC-227 se aplica en sistemas de extinción de incendio, por lo tanto, su mercado es diferente al HFC-134a, el cual es utilizado en refrigeración y aire acondicionado.

Finalmente, se tiene el mercado de las mezclas, ya sea de CFC/HCFC, HFC/HCFC y HFC/HFC. Los volúmenes promedios anuales importados durante el período considerado es de 72 ton/año, correspondientes a un CIF total de US\$ 490 mil/año. Estas mezclas son utilizadas en forma mayoritaria en refrigeración comercial e industrial. De estas mezclas, la más importante es la R-502 (26.3%) y el

R-404a (57%), tomando como base las toneladas importadas. El R-404a es la mezcla de reemplazo del R-502 (basada en CFC) y su precio es muy similar.

En resumen, el mercado de los CFC, HCFC, PFC, HFC y sus mezclas, tiene una magnitud de aproximadamente US\$ 4,5 millones/año, considerado como precio CIF. Por otro lado, dentro de las principales importaciones, se encuentran los HCFC-22 y HCFC-141b.

Para el caso de los HFC, las principales importaciones corresponden a HFC-134^a.

Los sustitutos de los CFC son compuestos que poseen un efecto invernadero importante. El HFC-134a está listado dentro de las sustancias del Protocolo de Kioto.

Los efectos adversos de las actividades de refrigeración y climatización sobre el medio ambiente son por partida doble: los CFC son compuestos con alto potencial destructor del ozono y a la vez poseen un alto índice de calentamiento global, tal como se puede observar en la Tabla 2.

Por otro lado, los sustitutos presentan nulo o muy bajo potencial destructor del ozono (HFC y HCFC), pero sin embargo también son compuestos con alto coeficiente de calentamiento global.

El Potencial de Calentamiento Global (GWP) mide la contribución directa de un gas que es liberado a la atmósfera. Sin embargo, los sistemas de aire acondicionado y de refrigeración, pueden contribuir al calentamiento global, también de una manera indirecta: estos sistemas necesitan energía para su funcionamiento. La electricidad puede venir de distintas fuentes tal como el carbón, petróleo, gas, los cuales liberan CO₂ durante su ciclo de funcionamiento. La energía solar, hidroeléctrica, geotérmica, eólica, nuclear son fuentes de energía que no producen CO₂.

Es por esta razón, que los científicos han definido un índice que se denomina Efecto Total Equivalente de Calentamiento Global (TEWI), el cual se expresa de la siguiente manera:

Por lo tanto, el índice TEWI, toma en cuenta los dos modos principales mediante los cuales determinada aplicación contribuye al calentamiento global del planeta, a saber: el efecto directo de las emisiones de refrigerantes y el efecto indirecto $TEWI = \text{Efecto directo por emisiones de gas} + \text{efecto indirecto por empleo de energía}$. El efecto indirecto depende de la eficiencia energética del proceso o equipo y del origen de la energía.

La tabla 3, muestra de qué manera el efecto directo y el indirecto contribuyen al índice TEWI, para diversas aplicaciones de CFC, HCFC/HFC. Como se puede apreciar, en los enfriadores, el efecto indirecto contribuye mucho más al TEWI, que la emisión del gas (ver Tabla 3).

Para el caso de las tecnologías alternativas, basadas en HCFC y HFC, el efecto indirecto es aún más importante que su contraparte basada en tecnologías dependientes de CFC.

Como conclusión, se puede decir que las alternativas son más benignas que los CFC en términos de Potencial Agotador de la Capa de Ozono y de Potencial de Calentamiento Global, pero aún son gases efecto invernadero mucho más poderosos que el CO₂. La Tabla 4 muestra algunos valores aproximados de TEWI para otras aplicaciones en refrigeración, pero estas cifras se deben tomar solamente como referencia, ya que en la actualidad se ha ampliado el TEWI para dar lugar a la metodología denominada Desempeño Climático del Ciclo de Vida (LCCP), la cual también considera la manufactura de las sustancias químicas (4)

También es necesario destacar, que al evaluar las alternativas, preocupación especial a considerar son los efectos indirectos, por lo que la evaluación de la eficiencia energética del proceso es vital para tomar una decisión que sea lo más amigable para el medio ambiente.

Por las razones antes mencionadas, los HCFC están enfrentando estrictiones en su uso y comercio, como por ejemplo, USA prohibió la fabricación de espumas rígidas de aislación a partir del año 2003, mientras que la comunidad europea decidió prohibir el uso de

HFC-134 (a) en aire acondicionado de automóviles a partir del 2012.

Otro ejemplo de los problemas de los HCFCs lo constituye la fabricación de HCFC-22, proceso en que se obtiene el HFC-23, el cual posee un alto potencial de calentamiento global (aprox. 12.000). Los HCFC están siendo cuestionados por el Protocolo de Montreal y existen varias propuestas de adelantar su eliminación en los países en desarrollo, situación que se discutió en su última reunión de las partes, llevada a cabo en Septiembre del 2007 en ocasión de los 20 años de existencia de este convenio internacional.

En efecto, Durante la 27ª reunión del Grupo de Trabajo de composición abierta de la Partes en el Protocolo de Montreal, celebrada en Nairobi del 4 al 7 de junio de 2007, los representantes de las Partes proponentes, a saber, los Estados Federados de Micronesia; Mauritania, Mauritius; los Estados Unidos de América; Argentina y Brasil conjuntamente; e Islandia, Noruega y Suiza conjuntamente, presentaron seis propuestas para ajustar el Protocolo de Montreal respecto de la eliminación de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

Como resultado de discusión, se expusieron cuatro opciones principales para establecer niveles básicos de las Partes respecto de los HCFC y un conjunto de opciones en relación con el calendario y la tasa de la eliminación de la producción y el consumo de los HCFC5.

Otra arista importante de la discusión sostenida al interior de las instancias del Protocolo de Montreal, es la consideración de los beneficios climáticos asociados a la eliminación acelerada de los HCFCs, situación que no es nueva, ya que desde hace algunos años a esta parte se han realizado trabajos conjuntos entre los paneles de expertos del Protocolo de Montreal y el Comité Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (7,8)

La producción de HCFC se encuentra a la baja, debido a las presiones que están recibiendo del Protocolo de Montreal y de algunos gobiernos para eliminar estas sustancias en forma adelantada. En efecto, para el año 2004, la producción de HCFC-141b había bajado en un 46% entre el 2003 y el 2004, mientras que el HCFC-22 sólo había crecido un 1% en el mismo período (9)

La Tabla 5 muestra las cifras de producción de HCFC de los países en desarrollo y la de los países desarrollados. A partir de esta información, se puede comprender la razón de las propuestas de eliminación anticipada de los HCFC: mientras los países desarrollados han bajado ostensiblemente su producción, los países en desarrollo la han incrementado, lo que ha tenido como resultado una disminución modesta en las cantidades globales de producción de estos compuestos.

El futuro de los HFC también es incierto, debido a que se encuentran regulados por el Protocolo de Kioto.

La elección de las tecnologías alternativas, no solamente debe considerar su potencial de destrucción del ozono, sino que también el aporte de la nueva tecnología al cambio climático global, derivado del consumo y uso de energía. Lo anterior ha dado origen al concepto de que el desempeño ambiental de las alternativas no se basará exclusivamente en el tipo de sustancias utilizadas, sino que se evaluará lo que se ha venido en denominar el Desempeño Climático del Ciclo de Vida (LCCP) de la tecnología. El LCCP mide los impactos directos sobre el clima de la sustancia, junto a los impactos indirectos de las emisiones de subproductos y emisiones de gases efecto invernadero asociados a la producción de electricidad y energía.

Existe una tendencia en las nuevas tecnologías en utilizar soluciones ambientalmente más sustentables, tales como el uso de hidrocarburos, CO₂, combinaciones de sales, diseños de construcción inteligentes, aprovechamiento de la energía geotérmica, etc.

Como conclusión, el país deberá enfrentarse más temprano que tarde a un segundo proceso de conversión tecnológica en el sector de refrigeración y climatización, ahora saltando desde los HCFC a otro tipo de tecnología, donde la eficiencia energética y las bajas emisiones de gases efecto invernadero serán criterios fundamentales en la adopción de las nuevas tecnologías. (ver tabla 5).

Notas

(1). Existen compras por montos marginales en Euros y libras esterlinas, por lo que se consideró 1EU= 1 Libra= 1US\$ como promedio para el período. Los tamaños de mercado fueron sacados de la Tabla A6 del anexo.

(2). Bases de Datos de Lexis-Nexis.

(3). Ver "Scientific Assessment Report 2006", Capítulo 8: "Halocarbon Scenarios, Ozone Depletion Potentials, and Global Warming Potentials";

http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2006/10-Chapter_8.pdf

(4). UNEP Technology and Economic Assessment Panel; RESPONSE TO DECISION XVIII/12 ;REPORT OF THE TASK FORCE ON HCFC ISSUES (WITH PARTICULAR FOCUS ON THE IMPACT OF THE CLEAN DEVELOPMENTMECHANISM) AND EMISSIONS REDUCTION BENEFITS ARISING FROM EARLIER HCFC PHASE-OUT AND OTHER PRACTICAL MEASURES; August 2007.

(5)UNEP/OzL.Pro/HCFC/C.2/2

(6)UNEP/OzL.Pro.19/INF/4/Add.1

(7). Ver "Safeguarding the Ozone Layer and The Global Climate System: Issues related to Hydrochlorofluorocarbons and Perfluorocarbons", IPCC, Cambridge University Press, 2005.

(8). También se había publicado un reporte del IPCC "Methodological and Technology Issues in Technology Transfer", (2000), donde se reunieron expertos de ozono y cambio climático para producir este informe.

(9). Ver "Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS)", http://www.afeas.org/production_and_sales.html

Aire Acondicionado de precisión para Salas de Servidores de Alta Densidad

Preparado por Heinrich Stauffer, Ingeniero ETS, Gerente General, INSTAPLAN S.A. Trabajo presentado en las “Jornadas Tecnológicas” realizadas por la Cámara y DITAR Chile en Octubre 2007

En este artículo se explica cómo aplicar sistemas de aire acondicionado de precisión en salas de servidores de alta densidad. Las salas de servidores de alta densidad son salas de servidores que superan una carga térmica igual o mayor de 1'200 W/m² (4'000 Btu/hm²). Para ello se hace una breve introducción a la climatización de precisión, para luego continuar con dos temas principales: disipación de calor en este tipo de salas, y las posibles soluciones de enfriamiento que existen hoy día en el mercado.

Temario

- Introducción.- Cargas Térmicas / Disipación de Calor.
- Soluciones.
- Sistema con Enfriamiento Local Mediante Agua.
- Sistemas con Enfriamiento Local Mediante Refrigerante.

Introducción

- ¿Dónde se ubican estas salas en el Rubro HVAC?
- Definición Aire Acondicionado Precisión.
- Comparación climatizador Confort v/s Precisión.
- Equipo de Climatización Precisa Típico.
- Diseño de un Equipo CRAC.
- Sistemas de Enfriamiento.
- Temperatura de un Rack.
- Variación de Capacidad en un CRAC en función de la Temperatura de Retorno.
- Disponibilidad de una Sala.

Definición

- Aire Acondicionado de Precisión, PAC (Precision Air Conditioning).
- Aire Acondicionado de Salas de Computación, CRAC (Precision Air Conditioning).
- Sistemas para mantener en una sala la temperatura y humedad relativa constante y en estrechas tolerancias, 24 hrs. 365 días al año.

En consecuencia el climatizador debe ser capaz de:

- Enfriar.
- Humidificar.
- Deshumectar.
- Post-Calentar.
- Filtrar.
- El enfriamiento sensible debe ser mayor que 90, óptimo es 100%. Solamente el enfriamiento sensible puede bajar la temperatura en la sala.
- El enfriamiento latente debe ser mínimo, sirve para reducir la humedad en la sala.
- Deshumidificar es una de las funciones de un climatizador de precisión.

Esto es principalmente el motivo por el fuerte aumento de calor disipado por m2. Antiguamente se han podido ubicar unos 6 servidores en un Rack. Hoy entran hasta 42 Servidores en el mismo Rack. El crecimiento de una sala servidores hoy día ya no es por aumento de superficie de la sala, si no por aumento de servidores en los Rack. Para definir la disipación de calor de una sala existente, basta solamente medir el consumo eléctrico a través de la o las UPS o del Tablero eléctrico de fuerza.

El consumo eléctrico de una sala es la disipación de calor. No olvidar sumar el balance térmico de la sala, la disipación de las UPS y el consumo eléctrico de los ventiladores de los climatizadores en operación. Para proyectos nuevos, uno obtiene los valores del consumo eléctrico de los servidores (Valor Placa). El consumo real está en aproximadamente 60 % de la suma de estos valores.

A modo comparativo, se muestran valores de un aire acondicionado típico de una oficina y de una sala servidores. Se ve claramente que se tratan de sistemas muy diferentes.

Soluciones

- Sala Enfriada por Aire, Impulsión y Descarga Rack a la Sala.
- Sala Enfriada por Aire, Impulsión directa a la Sala, Descarga de Aire Rack Conducida.
- Sala enfriada por Aire, Impulsión Aire Directa al Rack, Des-carga de Aire conducida.
- ¿Dónde está el Limite de Enfriamiento por Aire?

- El Desafío de Seleccionar el Caudal de Aire Correcto.
- Diseños con Pasillos Fríos y Calientes.
- Cierre de Espacios entre Servidores en el Rack.
- Climatizador de Precisión y Ventilación Forzada en Rack.
- Enfriamiento Rack con Ventilación forzada.
- Diseño del Piso Falso, Aire Cableado.
- Altura Piso Falso para Salas hasta 1'500 W/m².

Las alturas indicadas en la diapositiva anterior se refieren solamente a salas de alta densidad. Salas pequeñas y salas que no son de alta densidad, perfectamente funcionan con 300 mm de altura para distribuir el aire, con o sin cableado. Una mala distribución de aire no se arregla con bajar el set-point

Sistemas con Enfriamiento Local Mediante Agua

- Salas de Alta Densidad, Esquema Hidráulico.
- Salas de Alta Densidad, Distribución Equipos.
- Salas de Alta Densidad, Red de Agua Secundaria.
- Salas de Alta Densidad, Ejemplo Equipos de Clima.
- Ejemplo de Rack cooling.
- Esquema Hidráulico Rack cooling.
- Equipos Locales de Enfriamiento.
- Equipo de Frío Montado Dentro del Rack.
- Equipo de Frío Montado al Costado del Rack.
- Equipo de Frío Montado dentro del Rack.

Este esquema hidráulico muestra una solución con Rack que incluyen equipos de enfriamiento tipo Mochila. En una sala anexa se ubican los climatizadores enfriados por agua proveniente de un Chiller y los Equipos de Intercambio (Pump Transfer Units). Esta solución requiere entrar con agua a la sala servidores. Los Equipos de Intercambio deben cumplir con 2 objetivos: A) Subir la temperatura del surtidor de agua por encima del punto de rocío de la sala y B) Separar el circuito de agua primario del circuito de agua secundario.

Así, en caso de rotura de la cañería, derrama un mínimo de agua. Los climatizadores generales enfrían todos los equipos informáticos en la sala que no estén integrados en los Rack enfriados.

La importancia de una correcta humidificación (parte final)

Preparado por Ing. Carlos G. Mendoza Elizondo, ASHRAE.
Capítulo Ciudad de México, carlos_mendoza@tecno-sis.com /
direccion@americmx.com / www.aercmx.com

CÁLCULO DE LA CARGA DE HUMEDAD

Al estar humidificando un edificio o que se encuentre ya húmedo, constantemente existen pérdidas de humedad por diversas razones. La principal razón son los cambios de aire debido a los efectos de las chimeneas (en los edificios altos) y también por la presión ejercida por el viento, causando en el recinto un aumento de temperatura y calor en la corriente de aire. Esto provoca que si las superficies de las paredes del recinto se encuentran a mayor temperatura y están en contacto con una corriente de aire frío, con el transcurso del tiempo, el fluido en contacto inmediato con las paredes se empezará a calentar debido a la transferencia de calor por conducción que ocurre entre ambos, provocando que la corriente de aire se haga menos densa. Debido a la diferencia de densidades, se obtiene una fuerza de flotación resultante, provocando que el aire más ligero se eleve y lo reemplace otra cantidad de aire más frío, repitiéndose continuamente este proceso.

Puesto que el movimiento de la corriente de aire queda establecido por fuerzas naturales, a este tipo de cambio de aire se le llama ventilación o convección natural.

El aire que es tomado del exterior y que pasa a través de un edificio, debido a un ventilador que es operado con un sistema de ventilación, provoca una evacuación del aire que se encuentra en el interior del recinto. Este tipo de recirculación del aire es llamado como método de ventilación mecánica.

Los materiales o productos higroscópicos que se mueven a través de un edificio absorben cierta cantidad de humedad al realizar algún tipo de movimiento, esto puede ser otra razón de pérdida de una cierta cantidad menor de humedad.

Cierta cantidad de vapor de agua puede fugarse a través de los pequeños orificios o grietas que se encuentran en los alrededores de ventanas y puertas o penetrará a través de las mismas paredes, sin embargo también puede haber otras formas de fugas de vapor en el recinto.

Ciertamente durante casi todo el año se necesita enfriar en los recintos o edificaciones, provocando una pérdida de humedad debido a la condensación que ocurre en el serpentín de enfriamiento del sistema de aire acondicionado. Las salas de computación son un ejemplo característico. Su explicación se indica en salas de cómputo y pérdidas de humedad por equipos de enfriamiento.

Por otra parte, estos mismos edificios tienen una ganancia de vapor de agua debido a los mismos ocupantes y al tipo de actividad que se realiza en el interior del edificio.

Generalmente esta ganancia es tan pequeña, que ésta puede ser ignorada cuando se está haciendo el cálculo de la carga de humedad.

Como una regla, la determinación de la carga de humedad es basada solamente a través de la corriente de aire de entrada o del aire que ya se encuentra en los edificios y recintos. En los edificios que no cuentan con un sistema de ventilación, la carga de humedad es usual y estrictamente calculada sobre las bases de infiltración-exfiltración.

Esto es usual y suficientemente exacto al calcular los cambios de aire basándose sobre las siguientes bases:

- Edificios con un lado expuesto a un cambio de aire por hora.
- Edificios con dos lados expuestos a un cambio y medio de aire por hora.
- Edificios con tres lados expuestos a dos cambios por hora.
- Edificios con cuatro lados expuestos a dos cambios de aire por hora.

Lo anteriormente dicho es una guía para construcciones comunes y de uso ordinario. En los casos en que las estructuras de las construcciones sean débiles, o con puertas que han dejado abiertas por grandes períodos de tiempo, podrán ser estudiadas acordemente a sus necesidades. En algunos casos, esto puede ser necesario para duplicar los valores encontrados.

Cuando se está determinando la carga para un edificio que contiene un sistema de ventilación, pero que está operando con un porcentaje menor de aire exterior (10% o menos), es prudente hacer el cálculo de la carga dos veces. El primer cálculo puede ser hecho sobre las bases de cambio de aire debido a la ventilación mecánica; la otra forma se debe basar a través de la ventilación natural. Utilice el resultado más grande que se obtenga al determinar la carga de humedad. También es muy común en climas fríos ignorar el contenido de humedad del aire exterior que entra al edificio cuando se está haciendo el cálculo de la carga. Los siguientes ejemplos, sin embargo, sí toman esto en cuenta.

MÉTODO DE VENTILACIÓN MECÁNICA

EJEMPLO: Supóngase una planta de impresión o imprenta que tiene un sistema de ventilación a través del cual circulan 9000 cfm de aire neto, del cual el 25% es aire del exterior. El recinto se mantiene a una humedad relativa de 50% y 70°F (21°C). Las condiciones de diseño del exterior son a 45% de humedad relativa y 10°F (-12°C). Determine la carga de humedad requerida para mantener la planta en condiciones óptimas de contenido de humedad.

MÉTODO DE VENTILACIÓN NATURAL

EJEMPLO: Usando la misma planta de impresión. Asuma que el aire exterior absorbido es encerrado durante el proceso de humidificación. Las dimensiones del edificio son de 120 pies por 80 pies por 12 pies de alto. Determine la carga asumiendo a uno y medio cambio de aire por hora.

De lo anterior se tiene que:

$$(120\text{pies}) \times (80\text{pies}) \times (12\text{pies}) = 115,200 \text{ pies cúbicos.}$$

$$(115,200 \text{ pies cúbicos}) \times (11/2 \text{ horas}) = 172,800 \text{ pies cúbicos por hora.}$$

Convirtiendo los pies cúbicos por minuto:

$$(172,800/60) = 2,880 \text{ cfm.}$$

$$(2880/100) = 28.8 \text{ 100's (Los valores en la tabla están basados sobre 100cfm)}$$

$$(28.8) \times (3.14-0.30)\text{Lbs/hr} = 90.43\text{Lbs/Hr}$$

La capacidad de los equipos de humidificación podrá ser seleccionada para satisfacer el valor más grande obtenido a través de los dos métodos anteriores o estar aproximado a 90 Lbs por hora.

CICLO ECONOMIZADOR

Durante muchos años los sistemas de aire acondicionado están equipados con este tipo de ciclo de secuencia de control. Calculando la carga de humedad, ésta es considerablemente diferente a la que se determina para el sistema a partir del aire exterior. Es llamado ciclo economizador porque éste usa aire frío del exterior en lugar de un sistema de enfriamiento basado en un ciclo de refrigeración en el edificio durante las épocas del año, cuando la temperatura exterior es moderada.

En la figura 3, se mezcla aire y se controla fijamente a 55°F (13°C) a través de un actuador de compuerta, el cual es vinculado a la compuerta del aire de retorno y a la compuerta donde se absorbe aire del exterior. La compuerta opera de dos formas, una con un movimiento que tiende a abrir y otro movimiento que cierra y viceversa, manteniendo en la mezcla una temperatura de 55°F (a 100% de aire exterior) la compuerta del aire exterior retorna a su ajuste mínimo (frecuentemente a 10%) y mientras se está enfriando con un sistema de refrigeración.

Cuando se calcula la carga de humedad, se debe calcular la carga máxima, debido a que puede ser utilizada en alguna ocasión por causa de las siguientes oposiciones y dependencia de las variables de temperatura y humedad.

1. A medida que la temperatura del exterior aumenta, provoca un incremento en el contenido de humedad. El tipo de trabajo va disminuyendo la carga.
2. A medida que la temperatura del exterior aumenta, se da la razón del aire exterior contra el incremento del aire de retorno. El tipo de trabajo aumenta la carga.

Determinando la máxima carga de humedad para un sistema dado se requiere calcular la carga con diferentes valores de temperatura a lo largo de una escala variable para la corriente de aire tanto del exterior como de retorno, haciéndose simultáneamente

las correcciones para los cambios de la humedad del aire exterior a los diferentes valores de la temperatura.

Cuando se está controlando este ciclo, la carga máxima de humedad no ocurre cuando el aire exterior es enfriado y secado, como pudiera esperarse. Esto puede ocurrir cuando se está aproximando a una absorción del 100% de aire exterior, bajo cierta condición de temperatura (55°F para este caso).

La tabla XVIII es un método abreviado para la determinación de la carga máxima de humedad.

Esta ha sido obtenida de una serie de cálculos incorporando las variables anteriores y sólo las situaciones máximas de carga para diversas mezclas de aire más comúnmente utilizadas a una temperatura ajustada y diferentes valores de humedad relativa existente en los espacios internos. Esto es basado sobre una temperatura de diseño mínima externa de -10°F. Además, esto es basado sobre valores de humedad relativa externas, con rangos de operación de (70%, -10°F) a (42.5%, 55°F). Esto significa que para un incremento de 10°F basado en la temperatura exterior, la humedad relativa externa se ha reducido por un incremento de 5%.

Nota.

Algo de esto puede ser contradictorio. La realidad está en que si la temperatura exterior aumenta, la humedad relativa está disminuyendo. Sin embargo, al mismo tiempo, la humedad absoluta (peso del vapor de agua por unidad de peso de aire) está aumentando. Estos datos están general y suficientemente exactos para la estimación de la capacidad máxima sin la corrección de la temperatura de diseño exterior menor a -10°F

EJEMPLO:

El aire de retorno se encuentra a 70°F y es mezclado con aire del exterior produciendo una mezcla a una temperatura constante de 55°F. El volumen total de aire es de 8000 cfm y se encuentra a una humedad relativa de 50%. A partir de la tabla XVIII, determine la carga máxima.

Solución

A través de la tabla XVIII, haga la intersección de la temperatura de 55°F con la humedad relativa de 50% obteniendo un valor de

1.65 libras/hr por 100 cfm. Divida los 8000 cfm entre 100 (La tabla XVIII esta basada sobre 100 cfm), por lo tanto:

$$(8000/100) = 80$$

Multiplicando este valor por el que se determinó a partir de la tabla XVIII, se tiene que:

$$80 \times 1.65 = 132 \text{ lbs por hora.}$$

PÉRDIDA DE VAPOR DE AGUA A TRAVÉS DE ABERTURAS PERMANENTES

La migración de humedad de una región de vapor de mayor densidad a una región de vapor a menor densidad, que se lleva a cabo a través de una puerta abierta o pasillo, la carga se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$[(Ax300) / (C \times D)] \times GD \times H = \text{Granos por hora}$$

Donde:

A = Área abierta en unidades de pies cuadrados

300 = Constante = velocidad del vapor a una diferencia de 35 granos.

C = 14, es una constante que convierte los pies cúbicos a libras.

D = Espesor o profundidad de la abertura en unidades de pies (use uno o más)

GD = Diferencia de granos entre área.

H = Factor de diferencia de humedad obtenida a partir de la tabla XX.

EJEMPLO:

Suponga un espacio de almacén o depósito que se mantiene a 75°F y 60% de humedad relativa. Una de sus paredes contiene en la parte superior una puerta con dimensiones de 10 plg x 8 plg (80 plg²), que abre hacia el exterior. Las condiciones del exterior son de 35°F y 30% de humedad relativa. De la tabla XIX y XX, calcule cada hora la pérdida de vapor cuando la puerta se encuentra abierta.

Solución:

Tomando como referencia la tabla XIX, haga la intersección de la temperatura de 70°F con la humedad relativa de 60%, obteniendo un valor de 66 granos/lb. De la misma forma realice la intersección de la temperatura de 35°F con la humedad relativa de 30% encontrando un valor de 9 granos/lb sustrayendo (66-9) = 57 granos/lb (Este es el valor para GD).

Refiriéndose a la tabla XX, se localiza el factor H de 57 granos/lb, pero como no se encuentra, se toma el factor H más próximo, para este caso es el de 60 granos/lb, igual a 1.58.

Datos obtenidos a partir de la tabla XX:

GD = 57 granos/libra.

Factor H = 1.58

Sustituyendo los datos iniciales y los obtenidos de la tabla XX, en la ecuación 26 se tiene.

$$[(80\text{pies}^2 \times 300)/(14 \times 1 \text{ pie de espesor})] \times 57 \times 1.58 = 154,389 \text{ granos/hr}$$

$$(154.389 \text{ granos/hr})/(7000\text{granos/lb}) = 22 \text{ lbs/hr.}$$

BIBLIOGRAFÍA

Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design Faye C. McQuiston and Jerald Parker Third Edition Ed. John Wiley & Sons.

The Dehumidification Handbook

Second Edition Lewis G. Harriman III Ed. Munters Cargocaire

ASHRAE Laboratory Design Guide

Ian B.D. McIntosh, Chad B. Dorgan and Charles E. Dorgan

Ed. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Humidification Handbook

Second Edition Bernard W Morton Ed. Dry Steem

Humidity Control Design Guide for Commercial and

Institutional Buildings

Lew Harriman, Geoff Brundett and Reinhold Kitler

Ed. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics

Ed. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Direct Digital Controls for HVAC Systems

Thomas B. Hartman Ed. McGraw Hill.

Roger Haines on HVAC Controls

Roger W. Haines Ed. TAB Professional and Reference Books

Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado, Análisis y Diseño

McQuinston, Parker, Spitler Ed. Limusa Wiley.

La eficiencia energética en las instalaciones frigoríficas en supermercados

Preparado por Ing. Roberto R. Aguiló, Presidente Asociación Argentina del Frío, Profesor Universidad Nacional de Luján. Trabajo presentado en las "Jornadas Tecnológicas" realizadas por la Cámara y DITAR Chile en Octubre 2007

La sustentabilidad involucra varias formas de impacto de un sistema sobre el medio ambiente, pero el más nombrado es el consumo energético. El equipamiento de refrigeración en supermercados es el mayor usuario de energía en éstos, por lo tanto todo lo que se pueda hacer para mejorar la eficiencia de estos sistemas, impactará como un ahorro importante en el costo de operación. Para un mismo lay out, distintas alternativas de instalaciones y equipos, dan como resultado diferentes consumos de energía y distintos rendimientos.

Las distintas posibilidades son más amplias en los sistemas de baja temperatura que en los de media, aunque estos últimos son más importantes en el impacto energético porque son más numerosos.

Sustentabilidad y Eficiencia Energética

Se define como sustentabilidad a la capacidad para proveer las necesidades del presente sin afectar la habilidad para poder satisfacer las necesidades en el futuro. El diseño sustentable se relaciona con las tecnologías verdes.

Ya que no tenemos alguna norma específica para edificios como supermercados, en principio podríamos tomar las pautas dadas para edificios en general y ver cómo lo podemos aplicar en nuestro caso.

Se considera edificio verde a aquel que alcanza una alta performance durante todo su ciclo de vida en las siguientes áreas:

- Mínimo consumo de energía
- Mínimas emisiones atmosféricas
- Mínima descarga de efluentes líquidos y sólidos
- Mínimo impacto negativo de los ecosistemas locales
- Máxima calidad del ambiente interior

Según hemos enumerado, el tema de la sustentabilidad involucra varias formas de impacto de un sistema sobre el medio ambiente, pero siempre el más mencionado es el del consumo

energético. A pesar de esto no debe olvidarse de las otras formas de contaminación que provocan establecimientos, entre las que debemos nombrar las emisiones atmosféricas y la de efluentes líquidos y sólidos.

La instalación frigorífica del supermercado sin duda impacta más fuertemente en el área energía y en cuanto impacte dependerá del tamaño de la instalación y de la eficiencia energética de ésta.

El tema de las emisiones de refrigerante involucra fallas de construcción o mantenimiento y es un punto al que se le debe prestar atención desde que comienza la ejecución de la instalación, en las pruebas para poner en marcha el sistema y en el control durante toda su vida operativa.

Energía en Supermercados

Los equipos de refrigeración en supermercados son el mayor usuario de energía, por lo tanto, todo lo que se pueda hacer para mejorar la eficiencia de estos sistemas, impactará como un ahorro importante en el costo de operación.

De acuerdo a los proyectos realizados en los últimos 10 años vemos que, según el tipo de mercado, este sistema consumirá entre un 35% y un 45% del consumo total del edificio. Otros sistemas como iluminación están en un consumo alrededor del 35% y el aire acondicionado en un 20%.

Si observamos los datos obtenidos del ASHRAE Refrigeration Handbook vemos que las categorías son diferentes, pero si tomamos refrigeración y aire acondicionado en conjunto (ya que el punto compresores pertenece a ambos rubros) llegamos a valores parecidos.

El consumo correspondiente a la instalación frigorífica se puede dividir entre el de las heladeras, que absorben la mayor parte, alrededor del 60% del requerimiento total frigorífico, dependiendo del lay out del mercado y el restante 40% se reparte entre cámaras y sectores de elaboración.

A su vez los sistemas frigoríficos de los supermercados se dividen entre cargas en media temperatura y cargas en congelados. En los supermercados en Sudamérica, tradicionalmente, las cargas en media temperatura son mucha mayor cantidad que las cargas en congelados. De acuerdo a las estadísticas sobre los proyectos elaborados observamos que la distribución de potencias frigoríficas requeridas por temperatura de evaporación es 85% para los sistemas de media y de 15% para baja aproximadamente.

Como vemos el requerimiento de potencia frigorífica, es casi seis veces mayor en media temperatura que en baja, pero considerando que los sistemas de baja necesitan mayor trabajo para remover la misma cantidad de calor, tomando los COP de cada sistema la potencia eléctrica absorbida se reparte entre un 65 y 70% en media y un 30 a un 35 % en baja.

Equipamiento Frigorífico

Una misma instalación puede utilizar distintos tipos de equipamiento para cumplir su fin, alcanzando el consumo de energía distintos valores para realizarlo según sea la configuración del sistema. Esto depende de varios factores pero podemos remarcar como los principales la tecnología empleada y el refrigerante seleccionado.

La selección del equipamiento depende de factores técnicos y económicos. El equipamiento se diseña para que pueda satisfacer la demanda frigorífica bajo todas las condiciones de carga térmica y se espera que el equipo trabaje con la máxima eficiencia, pero esa mayor eficiencia se logra generalmente con diseños más elaborados y de mayor costo.

Desde el punto de vista económico los aspectos para la selección son un balance entre el costo de inversión y el costo operativo.

La eficiencia del sistema dependerá del refrigerante, de las características particulares de cada componente, y del diseño general del sistema y su tecnología. Un indicador de la eficiencia del sistema es el Coeficiente de Performance (COP). Es la razón entre la cantidad de calor que removemos en el evaporador, el Efecto Refrigerante Neto (E.R.N.) y la cantidad de energía que necesitamos para hacer esto, el Trabajo de Compresión (W_c), y que nos permite com-parar los distintos ciclos.

Un elemento importante en el rendimiento del sistema es el refrigerante, sus propiedades termodinámicas impactan directamente en la eficiencia del sistema. Las más importantes son el calor latente de ebullición, la pendiente de las curvas isoentrópicas, la conductividad térmica y la viscosidad.

Sobre el refrigerante podemos decir que en nuestros mercados aun se utiliza ampliamente el R 22, incluso en baja temperatura. Es un refrigerante del tipo HCFC usado desde hace más de 70 años y muy bien conocido.

Este refrigerante presenta complicaciones cuando se trabaja con compresión en una sola etapa con temperaturas de evaporación inferiores a -20°C ya que la temperatura de los gases de descarga se encuentra en el orden de los 140°C , lo que imposibilita su uso salvo que se usen diseños especiales o dispositivos para corregir esto.

Entre estas alternativas podemos mencionar los dispositivos de inyección de líquido, compresores enfriados por aire, compresores de tornillos, compresores de dos etapas o dos centrales donde la de baja descarga sobre la de media temperatura.

Actualmente mercados nuevos ya se están construyendo para R 404A. Es un HFC, por lo tanto no sufre ningún tipo de restricción por el Protocolo de Montreal, pero debe utilizarse lubricante poliol ester, ya que los demás aceites son incompatibles con este refrigerante. Se debe tener especial precaución para prevenir la entrada de humedad al sistema ya que este lubricante es muy higroscópico.

Este refrigerante presenta la ventaja de tener bajas temperaturas de descarga en sistemas de congelados y su COP es aceptable. Presenta mejores valores que el R 22 en media temperatura, pero es peor que éste en baja.

En otros países se utiliza el R 507 que presenta características y propiedades prácticamente idénticas al R 404A.

Un refrigerante que presenta ventajas por su ciclo termodinámico (incluso por costo) es el amoníaco, pero debido a su clasificación de seguridad (B2 de acuerdo al Standard ASHRAE 34), en instalaciones como las actuales su uso no es posible. Podría aplicarse solamente en instalaciones del tipo indirecto que se ven más adelante.

Las tecnologías y los equipos a emplear pueden ser distintos en media o en baja temperatura. Como vimos anteriormente, las heladeras son el mayor usuario de refrigeración dentro de los sistemas de frío alimentario, por eso son el primer elemento de la instalación a tener en cuenta para la eficiencia energética.

Sobre las cámaras frigoríficas, los ahorros que se pueden obtener son menores a los posibles en las heladeras. Sólo una pequeña parte de la carga térmica de una cámara (alrededor de un 20 a 30%) es debida a las transmisiones a través de la aislación. Es más importante la forma de operarla debido a las frecuentes aperturas de puertas, y todo cuidado que se ponga en minimizar estas cámaras será un ahorro más importante que la mejora de la aislación.

Los requerimientos frigoríficos de las heladeras varían según los distintos tipos y las causas que provocan este requerimiento son varias, pero las más importantes son la infiltración de aire exterior y la radiación.

Las más comunes dentro del mercado son las heladeras murales con estantes (utilizadas para productos lácteos, fiambres, vegetales, carnes) que tienen un alto requerimiento frigorífico por las pérdidas hacia el ambiente. Estas pérdidas, a pesar de la cortina de aire que tienen para reducirlas, representan más del 70% de la demanda frigorífica del equipo.

El desarrollo de un lay out de mercado tomando en cuenta los modelos que son más eficientes energéticamente, puede llevar a los ahorros más importantes en la operación del sistema de refrigeración.

En el gráfico siguiente (tomado del ASHRAE 2006 Refrigeration Handbook) se pueden ver las pérdidas porcentuales para cada componente de la carga.

Una mural de 2 m de altura para productos lácteos tiene un requerimiento frigorífico, promediando los valores de los distintos fabricantes, de 1200 W por metro lineal de frente de heladera. Una heladera vertical con puertas, tipo reach in, también de 2 m de alto, tiene un requerimiento del orden de 700 W por metro lineal, lo que representa un ahorro del orden del 40 % si se utilizan estas últimas.

En congelados, si comparamos este tipo de heladeras (vertical con puerta) contra los pozos (muebles refrigerados) horizontales abiertos, llegamos a algo parecido, ya que una de estas heladeras tiene casi el doble de volumen de producto que un pozo, y lo que en apariencia es un consumo algo mayor por metro lineal, si lo consideramos con respecto al producto que contiene, otra vez el mueble vertical presenta el mejor valor.

La eficiencia del ciclo de compresión va a depender del refrigerante (que ya hablamos anteriormente), del tipo de ciclo, de las presiones de operación y del rendimiento del compresor. Los distintos tipos de compresores influirán en el COP del ciclo.

En las instalaciones de supermercados generalmente se usan compresores semiherméticos alternativos, que pueden tener distintos valores de COP, pero entre los fabricantes de primera línea, los resultados son parecidos.

Para tener mayores rendimientos tendríamos que pensar en el uso de compresores abiertos, que nos permiten ahorrar la energía que gasta el sistema frigorífico en enfriar el motor del compresor, ya que el calor del motor es disipado al ambiente en forma directa sin pasar a través del sistema refrigerante.

Se puede decir que un compresor abierto tiene un COP que es alrededor de un 10% mayor al de un compresor semihermético (comparación de valores efectuada según software de distintos fabricantes).

El equipamiento en media temperatura no presenta muchas variantes para su diseño. Para enfriar un producto o conservarlo a temperaturas sobre 0°C, siempre se trabaja en simple etapa y las diferencias se pueden dar si el sistema es:

- Directo (refrigerante único)
- Indirecto (refrigerante secundario)

También podría haber diferencias entre los distintos sistemas de control de flujo, pero hablando exclusivamente de instalaciones en supermercados prácticamente se utiliza sólo expansión directa. Los sistemas inundados o de recirculado quedan para otros tipos de aplicaciones, pudiendo sólo ser válido el control de sistema inundado en una instalación con refrigerante secundario.

En los sistemas directos con compresión en simple etapa el refrigerante se envía a los evaporadores de cámaras y heladeras y la expansión se hace con válvulas termostáticas. Es la alternativa más sencilla, la de menor costo de inversión, pero no es la más eficiente desde el punto de vista de la energía.

Los sistemas directos usando compresores semiherméticos de simple etapa y válvulas termostáticas de expansión directa son los sistemas utilizados mayoritariamente en la actualidad (casi en forma exclusiva en nuestra región).

El uso de válvulas de expansión electrónicas podría llevar a importantes ahorros de energía cuando el sistema no trabajó en la condición de diseño (por ejemplo en invierno o durante la noche) porque permite reducir la presión de condensación al valor mínimo que nos permite el medio condensante, y no tener que mantenerla por encima de un determinado valor como debemos hacer con válvulas de expansión termostáticas.

Los sistemas indirectos con compresión en simple etapa son instalaciones con refrigerante secundario, en las cuales se realiza el ciclo frigorífico con un refrigerante en un circuito tradicional, y en el evaporador se enfría otro fluido, llamado refrigerante secundario, que es el que se envía a los intercambiadores situados en los lugares donde se encuentra la carga térmica. Es una instalación más compleja que presenta ciertas ventajas, pero también algunas desventajas.

Estos sistemas requieren del uso de una bomba para mover al refrigerante secundario entre los intercambiadores donde se enfría el aire o producto, y el evaporador donde el fluido secundario cede su calor al refrigerante tradicional.

Tienen la ventaja que el refrigerante primario se mantiene confinado en una sala de máquinas, siendo mucho más sencillo mantener el sistema libre de fugas ya que no hay largos tendidos de cañerías con refrigerante y la carga de éste es muy inferior que en las instalaciones tradicionales. Asimismo permite utilizar fluidos (como amoníaco), que por tener cierto margen de riesgo, no se podrían enviar a zonas ocupadas por público y si en una sala de máquinas a la que sólo tiene acceso personal calificado y que en condiciones de un escape accidental se puede ventear fácilmente al exterior.

El inconveniente que presentan es que dada una determinada temperatura en el espacio refrigerado normalmente un sistema directo tiene un COP ligeramente superior que uno indirecto debido a que en estos tenemos dos intercambios de calor: entre refrigerante y fluido secundario y entre éste y el aire (o el producto)

El tema de la selección del refrigerante secundario no presenta dificultades en media temperatura, ya que las alternativas son varias, pero en baja temperatura las soluciones más comunes (agua con glicoles) no se pueden utilizar, ya que las temperaturas que el sistema requiere están por debajo de los valores a los que estos fluidos pueden trabajar (tanto las soluciones de agua y etilenglicol, y agua y propilenglicol presentan problemas de imposibilidad de ser bombeados por su densidad). Una alternativa válida en baja temperatura son los fluidos con cambio de fase como el ice slurry (también conocido como hielo binario) y el CO₂ o productos químicos especialmente desarrollados para trabajar en estas temperaturas con baja viscosidad.

Para el equipamiento a utilizar en baja temperatura tenemos más opciones que en el caso anterior. Para congelar un producto o conservarlo a temperaturas por debajo de -18°C se pueden utilizar diferentes sistemas:

- Simple Etapa
- Doble Etapa
- Compresor a tornillo en simple etapa con economizador

También se puede elegir entre distintos sistemas de control de flujo igual que en el caso de enfriamiento y podríamos tener también sistemas directos o indirectos.

La compresión en doble etapa es una alternativa de equipamiento más compleja que los de simple etapa, con un mayor costo inicial pero una mejor eficiencia energética. Al hacer la compresión en dos procesos separados y enfriando el gas de descarga de la etapa de baja permite aumentar la eficiencia del ciclo ideal, y más aun en una situación real, ya que al trabajar cada compresor con una relación de compresión menor más alto será el rendimiento de estos. Si a su vez contamos con extracción de vapores en la etapa intermedia también el rendimiento aumenta, ya que al refrigerante usado hasta ese punto no es necesario reducirle innecesariamente la presión hasta la de succión en la etapa de baja porque es aspirado por el compresor de alta.

La compresión en doble etapa en las instalaciones de congelados cuando se usan en supermercados generalmente es a través de compresores de dos etapas (ambas etapas están en una misma máquina) o con una central de baja, que es una carga más de la central de media temperatura.

Una alternativa para usar un sistema de simple etapa y tener las ventajas de un sistema doble etapa es utilizar un compresor a tornillo (trabajando en simple etapa) con economizador.

Un compresor a tornillo puede tener una segunda puerta de aspiración (a una presión intermedia entre la de succión y la de descarga) que se utiliza para ingresar el refrigerante que se expandió para subenfriar el líquido refrigerante que se envía 39F a los evaporadores.

Esto permite incrementar el Efecto Refrigerante Neto a expensas de un pequeño aumento del Trabajo de Compresión, incrementando el COP del ciclo. El uso del economizador siempre aumenta la capacidad del compresor, debido al subenfriamiento de líquido, pero sólo en baja temperatura se incrementa en forma importante el rendimiento, justificando la mayor inversión que este sistema requiere.

El proceso de condensación tiene una gran importancia en el rendimiento del ciclo. En la medida que la temperatura de condensación baja, se reduce la presión de condensación, reduciéndose el trabajo de compresión, por lo tanto aumentando el COP.

Los condensadores deben tener la capacidad suficiente para disipar todo el calor que es absorbido en los evaporadores más el calor producido en la compresión. Se clasifican según el medio de enfriamiento:

- Condensadores enfriados por aire
- Condensadores enfriados por agua
- Condensadores evaporativos

Los supermercados utilizan generalmente condensadores enfriados por aire, pero se podría mejorar el rendimiento del ciclo, usando superficies de intercambio mayores que nos llevaría a presiones de condensación más baja.

Aun mejor sería el rendimiento si utilizáramos condensadores enfriados por agua, ya que como se ve en el gráfico el trabajo de compresión usando condensación por agua es menor que disipando el calor en uno enfriado por aire. Los sistemas de condensación por agua, ya sea con intercambiadores casco y tubo o evaporativos, tienden a la temperatura de bulbo húmedo del aire, y generalmente esta se encuentra al menos 8°C o 10°C por debajo de la temperatura de bulbo seco.

Hemos visto algunas alternativas para reducir el uso de energía en sistemas frigoríficos en supermercados, con distintos impactos en el ahorro de energía y distintos valores de inversión, pero desde el punto de vista de la sustentabilidad todas son valiosas para reducir en lo que se pueda el impacto sobre el medio ambiente.